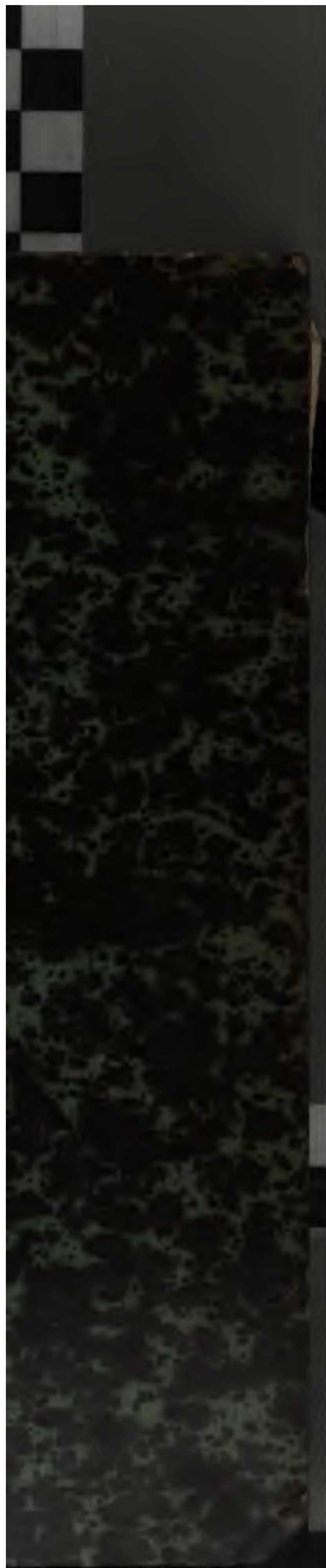



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. l'Ingénieur, secrétaire de la Commission des* ANNALES DES MINES, 60, boulevard Saint-Michel, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SEPTIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME X.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1876

ANNALES

DES MINES

NOTE (*)

SUR

LE HUITIÈME EXERCICE DE L'ASSOCIATION ALSACIENNE

DES

PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR,

Par M. F. CLÉRAULT, ingénieur des mines,
Secrétaire de la Commission centrale des machines à vapeur.

Depuis un certain nombre d'années et dans divers pays d'Europe, les industriels ont reconnu la nécessité d'exercer sur les chaudières à vapeur une surveillance indépendante de celle qui incombe à l'administration. L'une des plus anciennes associations fondées dans ce but a son siége à Mulhouse et porte le titre : ***Association alsacienne de propriétaires d'appareils à vapeur.***

L'Association alsacienne a récemment publié le compte rendu de son huitième exercice (1874-1875), et ce document contient des renseignements intéressants dont il paraît utile de publier les principaux.

(*) Cette note a été lue à la séance du 19 juillet 1876 de la Commission centrale des machines à vapeur.

EXTENSION DE L'ASSOCIATION.

Au 30 juin 1875, l'Association alsacienne comptait 1.332 chaudières confiées à sa surveillance; ces appareils étaient répartis comme suit :

Alsace-Lorraine	930
France	136
Grand-duché de Bade	226
Suisse	40
Total	1.332

Dans le courant de l'année, 253 nouvelles chaudières avaient été inscrites.

TRAVAUX DE L'ASSOCIATION.

I. *Visites.* — Les ingénieurs de l'association ont fait, pendant l'exercice, 1.239 visites extérieures et 790 visites intérieures de chaudières.

Ces visites ont donné lieu à des constatations de parties défectueuses dont la plupart sont résumées au tableau suivant :

OBJET.	NATURE DES DÉFAUTS.	NOMBRE.
Chaudières..	Fuites, déchirures, coups de feu, corrosions.	44
	Mauvais nettoyage.	73
Bouilleurs. . .	Coups de feu.	30
Id. . . .	Fissures au coup de feu.	15
Id. . . .	Fuites par les rivures.	29
	Fuites par le masticage des tubulures.	5
	Tôle dédoublée.	17
	Fortes incrustations.	49
	Tubulures dépourvues de tirants ou portant des tirants non serrés.	12
	Supports détériorés.	19
	Mauvais nettoyage.	46
Réchauffeurs.	A condamner, complétement usés.	2
	Corrosions, mauvais nettoyage.	41
Appareils de sûreté.	Niveau d'eau bouché.	16
	Niveau d'eau sans verre.	14
	Niveau d'eau, robinets fermés.	1
	Manomètres sans robinets d'essais.	20
	Id. inexacts.	8
	Id. bouchés.	3
	Id. à remplacer.	6
	Soupapes de sûreté calées.	2
	Id. faussées, surchargées.	37
	Flotteurs ou sifflets d'alarme ne fonctionnant pas.	38
Chauffage. . .	Feux mal soignés.	14
	Houille non cassée.	10
Grilles, foyers.	Portes de foyer brûlées.	10
	Grilles à remplacer.	6
Alimentation..	Tuyaux obstrués ou fortement incrustés.	23
	Niveau d'eau trop bas.	5
Maçonnerie. .	Carneaux trop étroits.	19
	Réparations diverses.	122
	Défauts aux registres.	3
Machines... .	Défauts divers.	9
	Total.	748

Indépendamment des remarques consignées ci-dessus, les visites ont donné lieu à différents rapports dont, à titre d'exemple, il convient de citer les suivants :

A. Un grand nombre de vos chaudières sont dépourvues de manomètres et de tubes de niveau : elles marchent uniquement avec le flotteur. Cet état de choses constitue une infraction aux règlements ; je vous engage à faire munir d'un tube de niveau les chaudières qui n'en possèdent pas.

B. Malgré la faible pression à laquelle les chaudières fonctionnent, l'une des soupapes de sûreté était surchargée au point de faire fléchir son levier.

C. La purge du cylindre débouche dans l'eau, ce qui permet au piston d'aspirer de l'eau; le tuyau de purge doit toujours déboucher en plein air.

D. Les deux bouilleurs réparés présentent un grave inconvénient : les pièces sont retenues par des boulons dont les écrous sont léchés par les flammes; plusieurs de ces écrous sont déjà brûlés. Je vous engage vivement à abandonner ce mode de réparation et à faire river une pièce dans l'intérieur de ces bouilleurs.

E.. Cette chaudière est en très-mauvais état : la tôle est profondément altérée par l'oxydation que détermine l'eau qu'on y laisse constamment séjourner. Je vous engage soumettre cette chaudière à un essai à la presse hydraulique avant de vous en servir, et à faire placer des étriers dans les tubulures qui relient la chaudière aux bouilleurs.

F. Le nettoyage des réchauffeurs est tout à fait insuffisant. Ils sont recouverts à l'extérieur d'une épaisse couche de suie et de rouille; à l'intérieur, les incrustations dépassent $0^{m},05$ en plusieurs endroits. La communication des deux réchauffeurs était presque entièrement obstruée. Le réchauffeur du bas était tellement rongé par l'oxyde qu'on a pu l'enfoncer à coups de marteau vers le milieu de sa longueur. Veuillez le faire dégager de la maçonnerie pour le faire réparer.

G. Vue extérieurement, cette chaudière paraît être en bon état, mais la corrosion intérieure est très-forte en maints endroits. Sous la couche incrustante, il s'est formé un très-grand nombre de lentilles qui ne sont autre chose qu'un mélange de rouille et de dépôts calcaires. Ces lentilles sont engagées dans la tôle sur une profondeur variant de $0^{m},002$ à $0^{m},008$. Il y a donc des parties où l'épaisseur du métal ne dépasse plus $0^{m},003$ ou $0^{m},004$; ces parties

sont accusées par une légère convexité de la couche d'incrustation. Les lentilles se détachent au premier coup de marteau. La tôle des bouilleurs est très-altérée sous les sommiers, et les communications sont dépourvues des étriers qui doivent assurer la liaison de la chaudière avec les bouilleurs; les réchauffeurs sont oxydés à l'intérieur et recouverts à l'extérieur d'une couche de $0^m,008$ d'épaisseur d'un mélange de suie et d'oxyde. En résumé, l'état de ce générateur est tel que je vous engage à le supprimer.

H. La tôle de cette chaudière est fortement piquée. Cela provient de ce qu'on s'est servi d'outils trop tranchants pour détacher les incrustations. Ce travail demande à être confié à des ouvriers soigneux et, lorsque l'épaisseur de la couche n'est pas trop forte, il convient d'employer des marteaux plats, ou même des raclettes, de préférence aux marteaux à piquer.

I. La chaudière est recouverte d'incrustations très-adhérentes, dont l'épaisseur varie de $0^m,005$ à $0^m,010$. Il serait à désirer que la chaudière pût être arrêtée assez longtemps pour permettre son nettoyage complet. Les fonds des bouilleurs sont recouverts de dépôts dont l'épaisseur paraît être de $0^m,03$ à $0^m,04$. Comme le diamètre de ces bouilleurs ne mesure que $0^m,450$, il n'est guère possible de les piquer. Ainsi je vous conseille l'emploi d'un réactif chimique qui soit de nature à ramener les incrustations à l'état boueux et puisse permettre ainsi le nettoyage convenable des bouilleurs.

J. L'intérieur des bouilleurs est recouvert d'incrustations qui, en plusieurs endroits, dépassent $0^m,05$ d'épaisseur. L'eau d'alimentation dont vous disposez étant assez bonne, il est probable que ces bouilleurs n'ont pas été nettoyés depuis fort longtemps. Dans la chaudière, l'épaisseur de la couche incrustante varie de $0^m,005$ à $0^m,025$; les incrustations y sont moins adhérentes que dans les bouilleurs. Je vous engage à faire opérer le nettoyage à fond

de ce générateur; il serait dangereux de continuer à marcher dans ces conditions qui, de plus, occasionnent une réduction notable du rendement.

K. La chaudière et les réchauffeurs sont recouverts d'une couche de suie de $0^m,01$ d'épaisseur. Je vous engage à faire opérer à fond le nettoyage extérieur des tôles. Ce travail exige l'arrêt de la chaudière pendant un temps assez long pour permettre de racler les tôles et de les brosser ensuite avec de petits balais métalliques.

L. La tôle se dédouble sur une étendue assez grande du bouilleur de droite. L'amincissement qui en résulte est de $0^m,002$. Dans la région voisine existe une fente qui paraît assez profonde. Cette avarie exige une réparation.

M. Le bouilleur porte une pièce boulonnée dont les écrous sont exposés au feu. Je vous engage à faire sortir ce bouilleur le plus tôt possible pour remplacer la pièce boulonnée par une pièce rivée à l'intérieur.

N. Dans les parties inférieures, la tôle de la chaudière est rongée extérieurement par la rouille; l'épaisseur du métal se trouve diminuée de $0^m,002$ à $0^m,003$. Cette oxydation est déterminée par l'humidité qui règne dans les carneaux, par suite du mauvais état des maçonneries. La chaudière peut fonctionner dans ces conditions quelque temps encore. Quand vous ferez rétablir sa maçonnerie, veuillez faire agrandir les carneaux. Avec leurs dimensions actuelles, l'accès n'en est pas possible. Les supports de la chaudière sont trop bas, ce qui empêche d'ouvrir le regard de nettoyage placé à la partie inférieure, regard qui doit permettre de s'assurer de l'état de la chaudière au-dessous du foyer.

O. L'avant-dernière virole de la chaudière présente, du côté gauche, une partie dédoublée de 1 1/2 décimètre carré de surface, le métal a perdu $0^m,002$ de son épaisseur. Le bouilleur de gauche porte au coup de feu un défaut pareil; la tôle s'est détachée sur une étendue d'environ 50 centi-

mètres carrés et sur une épaisseur de 0m,003. Les joues du foyer et l'autel sont brûlés.

P. Les chauffeurs ont l'habitude de relever les leviers des flotteurs pour empêcher les sifflets de donner l'alarme en cas de baisse de niveau. Je vous engage à faire cesser cet état de choses; un fait du même genre a produit dernièrement une grave avarie dans une maison des environs.

Q. La disposition des soupapes de sûreté est défectueuse; ces organes ne peuvent être facilement visités, aussi sont-ils très-mal entretenus. Leurs leviers ne se meuvent pas librement, ce qui rend presque impossible le soulèvement de ces soupapes, ou du moins faudrait-il que la tension de la vapeur fût bien supérieure à la limite qu'elle ne doit jamais dépasser.

R. Le bouilleur de gauche est en très-mauvais état. Aux deux premiers joints des viroles, la tôle est rongée circulairement sur une largeur de 0m,06 par les fuites des coutures. En certains endroits, l'épaisseur se trouve réduite à 0m,002. Le bouilleur de droite n'est pas aussi fortement avarié; cependant il serait bon de le remplacer en même temps que l'autre. On remarque des traces de fuites par le masticage à l'avant de la première tubulure de droite de la chaudière n°..... L'eau, en tombant sur les bouilleurs, y a formé des croûtes d'oxyde de 0m,005 d'épaisseur. Cette tubulure doit être remastiquée.

S. Le fond avant de cette chaudière porte une pièce rivée qui présente six fissures de 0m,065 de longueur. Ces fissures fuient toutes lorsque la chaudière est sous pression.

T. Depuis douze ans que cette chaudière fonctionne, elle n'a jamais été nettoyée à fond; elle est chargée d'une épaisse couche de dépôts. Le tuyau d'alimentation ne présente plus qu'une ouverture de 1 1/2 centimètre au milieu. Il est indispensable de faire nettoyer cette chaudière à fond.

U. Les chaudières n°s..... sont dépourvues de tubes de

niveau. Je vous engage à munir le plus tôt possible ces générateurs de cet appareil de sûreté indispensable.

V. Le chauffeur a l'habitude de conserver le soir une forte pression dans la chaudière et de surcharger les soupapes avec de grosses pièces de fer, afin de trouver le lendemain matin assez de pression pour mettre en marche. J'appelle votre attention sur les conséquences que pourrait entraîner un pareil fait. Le chauffeur doit cesser d'alimenter les feux vers la fin du travail, et arriver assez à temps le matin pour pousser les feux.

X. Lors de la visite, la pression dans la chaudière était de 6 1/2 atmosphères; les soupapes de sûreté étaient surchargées. D'après les renseignements obtenus, cette chaudière travaille constamment à cette pression. Je vous engage à faire cesser cet état de choses, tant au point de vue de la sécurité que de l'économie.

II. *Concours de chauffeurs.* — En sus de la surveillance des chaudières, les ingénieurs de l'association veillent au rendement des appareils et au bon emploi du combustible.

Dans cet ordre d'idées ont été organisés des concours de chauffeurs. La comparaison du concours de 1875 avec celui de 1874, au point de vue de la relation qui existe entre la consommation de combustible par mètre carré de surface de chauffe et le rendement pur, a donné des résultats indiqués au tableau suivant :

COMBUSTIBLE brûlé par heure et par mètre carré de surface de chauffe.	RENDEMENTS PURS.
kilog.	kilog.
1.475	9.606
2,156	8.662
3,086	8.220

Les résultats obtenus dans ces expériences ont conduit les ingénieurs de l'association à s'exprimer comme suit :

« On ne saurait trop insister sur ce point, que la pre-

« mière condition et l'une des plus importantes d'une « marche économique est de demander peu aux généra- « teurs que l'on emploie. . . . .

« Pour traduire d'une manière simple les conditions dans « lesquelles il conviendrait de se placer pour être assuré « d'un bon rendement, *nous dirons que la consommation « de combustible d'une chaudière à trois bouilleurs, de* 50 *mè- « tres carrés de surface de chauffe, sans réchauffeurs, devrait « être par douze heures de* 1.000 *à* 1.200 *kilogrammes.* »

III. *Essais à l'indicateur Watt.* — Ces essais ont eu pour résultat de montrer la nécessité de ramener plusieurs machines à des conditions meilleures de marche et par suite à des consommations beaucoup moindres. Ils ont été au nombre de cent pendant le huitième exercice.

Exemple : Une même usine comprend trois moteurs; deux de ces moteurs sont des machines horizontales à condensation, la troisième une machine verticale à condensation à détente Meyer.

La force développée par l'ensemble de ces trois moteurs est en moyenne de 72 chevaux-vapeur effectifs.

La consommation des machines horizontales est en moyenne de $4^k,80$ de houille de Ronchamp par cheval et par heure.

La consommation de la machine verticale est de $6^k,24$.

La consommation journalière moyenne de ces trois moteurs est de 4.400 kilogrammes de houille de Ronchamp.

La consommation journalière moyenne d'un bon moteur à condensation serait dans les mêmes conditions de 1.400 kilogrammes.

L'économie de combustible serait, par jour, de 3 tonnes, soit au minimum de 75 francs par jour, soit de plus de 22.000 francs par année.

Une économie de cette importance aurait vite permis d'amortir la dépense occasionnée par l'installation d'un bon moteur à condensation.

IV. *Essais à la presse hydraulique.* — Le nombre des essais à la presse hydraulique, pendant l'année 1874-1875, a été de 378; les appareils soumis aux épreuves se décomposent comme suit :

Chaudières à vapeur. . .	neuves. .	78	
	réparées.	95	
Bouilleurs et réchauffeurs.	neufs. . .	46	
	réparés. .	48	dont 10 appareils Green.
Tambours, appareils divers.		30	
Locomotives.		81	
Total.		378	

V. *Essais de rendement de chaudières.* — Les essais de rendement ont porté, pendant cet exercice, sur vingt-deux chaudières de divers types.

Les plus intéressants ont été faits sur deux chaudières identiques, dont l'une était munie d'un nouveau foyer imaginé par M. Ten Brinck, manufacturier à Arlen. Le rendement pur de la chaudière munie du nouveau foyer Ten Brinck a été de $10^k,15$, tandis que celui de l'autre chaudière était de $7^k,67$. Ce résultat est extrêmement remarquable avec de la houille d'Itzemplitz (2e qualité).

VI. *Projets d'installation.* — Les ingénieurs de l'Association ont fait sept projets de chaudières et appareils analogues pour les membres de l'Association.

VII. *Accidents* — Enfin, le rapport de l'ingénieur en chef de l'Association, M. Meunier-Dolfus, se termine par les lignes suivantes, qui doivent être reproduites textuellement, parce qu'elles formulent la véritable conclusion à tirer des travaux de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur :

« Nous avons la satisfaction de clore le présent exercice « sans avoir à signaler aucun accident de chaudière; les « nombreux faits mis en évidence par les visites inté- « rieures ne sont pas étrangers à cet heureux résultat. »

NOTICE

SUR

DIVERS MINÉRAUX RÉCEMMENT DÉCOUVERTS AU CHILI

Par M. Ignace DOMEYKO.

1. *Chlorure d'argent mercuriel* de Caracoles. — Ce minéral diffère beaucoup, par ses caractères extérieurs, de toutes les variétés d'argent corné chloruré que j'ai vues jusqu'à présent; sa couleur, dans la cassure fraîche, est d'un brun rougeâtre, jaunâtre, ou d'un brun de cheveux; la couleur change avec le temps, par l'action de la lumière, et devient noirâtre ou presque noire; son éclat dans la cassure est moins vif que celui du chlorure d'argent natif pur, et se ternit vite au contact de l'air, devenant parfois semi-métallique. Le minéral est moins malléable et moins compressible que le chlorure d'argent natif pur; il prend sous le couteau, dans la coupure, un certain éclat corné et une couleur jaune de miel; il se laisse écraser dans un mortier d'agate et se réduit en une poudre jaunâtre claire. Il donne, chauffé dans un tube fermé par un bout, un sublimé blanc et, si l'on ajoute du carbonate de soude, du sublimé de mercure.

Deux analyses de la masse amorphe de ce minéral, une par le zinc et l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, et l'autre par l'ammoniaque et l'hydrosulfate, m'ont donné pour sa composition, terme moyen :

Argent	66.68	91,52
Mercure	2,20	
Chlore	22,64	
Chlorure de sodium	1,75	
Sesquioxyde de fer	1,60	
Silice (insoluble)	1,07	
Carbonate de chaux et perte au feu	4,04	
	100,00	

Ce minéral forme de petites masses irrégulières au milieu des grandes masses de minerai d'argent chloruré qui constituent la richesse des mines de Caracoles, situées entre le 23e et le 24e degré de latitude, dans le désert d'Atacama, et considérées actuellement comme les mines les plus riches de l'Amérique méridionale. L'échantillon provient de la mine nommée *la Julia.*

2. *Minéral sulfo-ioduré d'argent* (*negrillo*) de Caracoles. — Ce minéral, plus rare que le précédent, présente dans sa composition, qui est variable, une association d'éléments que je n'avais jamais observée jusqu'à présent dans aucune autre mine d'argent au Chili. Il forme une masse amorphe, noire, tirant un peu sur le bleuâtre, tendre, poreuse, parfois spongieuse, et on le voit toujours enveloppé d'une croûte plus dure, jaunâtre, ocracée. La masse noire n'est pas homogène : on y reconnaît des parties plus riches en argent corné, qui sont compressibles, et d'autres moins riches en argent, qui se réduisent plus facilement en poussière et qui font effervescence avec les acides. On y distingue aussi, au contact de la croûte, quelques lamelles de galène.

Je déduis de diverses analyses faites sur la masse noire, pour sa composition :

Iode.......	3,57 (*)	formant	Iodure d'argent. .	6,61
Chlore......	1,58		Chlorure d'argent.	6,32
Argent......	40,47		Sulfure d'argent. .	37,56
Soufre......	6,45		Sulfure de plomb,	12,15
Oxyde de plomb.				
Carbonate de plomb....................				33,06
Carbonate de chaux....................				»

La croûte qui enveloppe la masse précédente, et qui est ordinairement très-hétérogène, ne contient pas d'argent ni d'iode, et se compose en grande partie de carbonate de plomb et d'oxychlorure de plomb, mélangés de matière insoluble.

Cette étrange association de l'argent corné au sulfure de plomb n'est pas rare dans les mines de Caracoles; on y trouve, même aux affleurements des filons très-riches en argent chloruré, des particules de galène, et les minerais contiennent souvent du carbonate de plomb, accompagné accidentellement de molybdate de plomb en cristaux octaédriques rouges, ou en tables quadrangulaires jaunes et de l'oxychloro-iodure de plomb.

3. *Sulfure d'argent mercuriel séléniteux* de Caracoles. — Ce minéral, aussi intéressant et, à ce qu'il paraît, plus abondant que le précédent, vient de la mine *la Descubridora*, de Caracoles.

Il est noir, éclatant, doué des trois clivages nets de la sélénite; tous les trois, principalement celui de la base, qui est éclatant, sont à surfaces planes et larges, leurs arêtes d'intersection aussi nettes que celles des cristaux de sélénite bien parfaits; seulement le minéral dont il s'agit ne se divise pas par feuilles minces comme la sélénite, mais par tables qui ont souvent plus de 2 à 3 centimètres de

(*) On a déterminé la proportion d'iode et de chlore, en réduisant le minéral par le zinc, *v. h.*, et précipitant ensuite l'iode par le nitrate de palladium, et le chlore par le nitrate d'argent.

grosseur. A la surface du clivage principal, qui a l'éclat vif, vitreux, de la sélénite, on distingue quelquefois et l'on peut séparer des feuilles excessivement minces et diaphanes de la sélénite qui pénètre toute la masse du minéral. Les deux autres clivages n'ont que peu d'éclat ou en sont complétement dépourvus. Les clivages de ce minéral ne s'obtiennent qu'en concassant les morceaux, et ne cèdent pas au tranchant du canif; sa dureté est supérieure à celle de la sélénite.

La séparation de la partie séléniteuse du minéral s'effectue sans difficulté par dissolution dans l'eau distillée; le minéral pur, c'est-à-dire à clivages parfaits, laisse dans l'eau environ le tiers de son poids d'un résidu qui contient à peu près 2 p. 100 de mercure et 3 à 4 p. 100 d'antimoine.

Quand on traite ce résidu par l'acide nitrique pur, il s'en dissout plus de 9/10 de sulfure d'argent, et il reste un composé d'argent, de mercure, de soufre et d'antimoine, sur lequel l'acide nitrique n'a presque pas d'action.

Ainsi, dans l'analyse que je viens de faire d'un morceau choisi de ce minéral, je trouve :

Sulfate de chaux hydraté (par différence) 68,89			
Partie métallique sulfurée 31,11	Soluble dans l'acide nitrique.	Argent. . .	22,32
		Soufre. . .	3,30
	Presque inattaquable par l'acide nitrique.	Argent. . .	2,77
		Mercure. .	0,61
		Antimoine.	1,10
		Soufre. . .	0,96
			31,06

Ce minéral se trouve en rognons ou masses irrégulières; il occupe plus particulièrement les parties intérieures et est entouré de minerai riche en chlorure d'argent mélangé de sulfate de chaux hydraté feuilleté.

4. *Argent antimonié sulfuré bleu*, de Caracoles. — On rencontre dans les mines d'argent du Chili, particulièrement dans celles de *Lomas Bayas* (Copiapó), des minerais très-riches en ce métal, toujours amorphes, qui ont une couleur bleuâtre plus ou moins foncée. Quelquefois cette couleur est due à une faible proportion de carbonate bleu de cuivre; mais il y a des minerais qui n'en contiennent point et qui présentent des nuances bleuâtres du même genre. Dans ce cas, on trouve toujours dans ces minerais de l'argent antimonié sulfuré et du chlorure d'argent.

Dernièrement j'ai reçu de la mine *la Descubridora*, de Caracoles, un échantillon de minerai de la même espèce, contenant environ 40 p. 100 d'argent, assez pur pour que je pusse en reconnaître la nature.

Ce minéral est d'un gris bleuâtre et ressemble, par sa couleur, à certains minerais amorphes de fer phosphaté bleu terreux. Il est tendre, un peu compressible, difficile à casser, terne, mais il prend un peu de poli sous le couteau; sa structure est homogène, à grain fin et passe à une consistance terreuse; sa cassure plane et irrégulière, sa poussière bleuâtre.

Au chalumeau, fusible en une masse noire à surface inégale, avec bouillonnement, production de globules métalliques et de fumée blanche; dans un tube fermé par un bout, dégagement de vapeur d'eau; dans un tube ouvert, de l'eau, un sublimé blanc qui se condense à une certaine distance de la matière fondue, et un autre, blanc également, qui ne se produit qu'en petite proportion quand on augmente le feu, et qui ne fait que rendre le verre sale, opaque, autour de la matière soumise à l'essai, tandis qu'au centre de celle-ci le verre se colore en jaune. En fondant le minéral au rouge naissant, dans un petit creuset de porcelaine taré, introduit dans un autre plus grand (tous les deux fermés, et un morceau de charbon calciné entre les deux couvercles), on obtient une masse noire, raboteuse, sans qu'il s'y

forme de globules métalliques, et la matière perd 7,2 p. 100 de son poids.

Quand on traite ce minerai par l'ammoniaque faible et ensuite par l'eau, tout le chlorure d'argent se dissout, mais les eaux de lavage deviennent troubles et passent au travers du filtre. En évaporant ces eaux, on reconnaît que ce qu'elles laissent est de l'acide antimonique, difficilement soluble dans l'acide chlorhydrique fort et bouillant, et presque insoluble dans une dissolution potassique. Si, au lieu d'employer de l'eau pure, on se sert pour le lavage d'eau acidulée avec de l'acide chlorhydrique, l'eau devient encore plus trouble et laisse sur le filtre une quantité considérable d'acide antimonique hydraté, mélangé de sulfure d'argent. Il est impossible d'enlever par ce moyen tout l'acide antimonique, même en prolongeant pendant plusieurs jours ces lavages et décantations; si l'on se sert de l'acide chlorhyrique un peu fort, il attaque l'argent sulfuré, sans dissoudre l'acide antimonique.

On conçoit, par conséquent, la difficulté que je trouve à déterminer directement la proportion de ce dernier. J'ai seulement pu déterminer jusqu'à présent celle du chlorure d'argent que renferme le minéral, et les proportions de l'argent et du soufre qui appartiennent à la partie du minéral qui est insoluble dans l'ammoniaque, et dont il est facile de séparer complétement le chlorure. Trois analyses faites sur divers morceaux du minéral m'ont donné pour résultats :

	(1)	(2)	(3)
Chlorure d'argent	11,3	11,2	10,3
Sulfure d'argent	45,2	45,5	50,6
Excès de soufre appartenant à l'antimoine	0,6	1,2	0,9
Perte au feu (au rouge naissant)	7,2	7,2	7,0 (*)
Acide antimonique et antimoine appartenant à l'argent antimonié sulfuré, qui correspond à l'excès de soufre (*par différence*)	35,5	34,9	31,2

(*) La perte au feu ne représente pas certainement la proportion

Ces résultats me démontrent que le minéral *bleu* n'est qu'un mélange intime (ou une espèce d'union) d'argent chloruré, d'argent sulfuré, d'une petite proportion d'argent antimonié et d'acide antimonique hydraté.

Cet acide et le chlorure proviennent probablement de la métamorphose de l'argent sulfo-antimonié noir. On connaît d'autres cas de décompositions analogues que subissent différents minéraux sulfo-antimoniés; ainsi :

1. Le cuivre gris mercuriel de Lajarilla, près d'Andacollo (Chili), transformé en.	Acide antimonique, oxyde de cuivre et sulfure de mercure (*ammiolite*).
2. Cuivre gris antimonié de Potochi (Pérou), transformé en	Acide antimonique, oxyde de cuivre et des restes de cuivre gris non décomposé (*pertzite*, *stetefeldite*).
3. Argent sulfo-antimonié de Caracoles (Bolivie), transformé en.	Acide antimonique hydraté, chlorure d'argent, sulfure d'argent et le reste d'argent sulfo-antimonié non décomposé.

5. *Polyarséniure de cuivre, d'argent et de bismuth*, de la mine de *San Antonio del Potrero Grande* (département de Copiapó). — Ce nouveau minéral provient de la même mine de San Antonio où, il y a trente ans, j'ai reconnu pour la première fois l'existence de l'argent bismuthal (*).

Il est amorphe; la cassure fraîche est d'un gris métallique tirant un peu sur le jaune, d'un très-faible éclat, la structure grenue, à grain très-fin, homogène; il se ternit, devient noirâtre par le contact de l'air, et se couvre de teintes irisées pareilles à celles de certaines variétés d'arséniure de cuivre ou de cuivre pyriteux. En le frottant

---

de l'eau, à cause de la décomposition partielle que peut subir au rouge naissant l'acide antimonique et des changements des éléments qui doivent en résulter.

nnales des mines, 1844.

avec un canif, il prend un vif éclat argenté, qui se conserve. Il se casse en fragments qui ont les angles et les arêtes tranchants; mais il oppose une certaine résistance à se laisser écraser sous le coup d'un marteau et au mortier d'agate; la cassure est à surface plane ou légèrement conchoïde; il raye le spath calcaire; sa dureté = 3,5; sa densité 6,66 à 6,81. Au chalumeau, très-fusible; en fondant, dégage à l'air des fumées blanches arsenicales. Facilement attaquable par l'acide nitrique à froid, donnant une dissolution bleue qui se trouble quand on ajoute de l'eau, il produit un abondant précipité quand on ajoute une goutte d'acide chlorydrique. En chauffant ce minéral avec de l'acide chlorhydrique faible ou étendu d'eau, il se dissout environ 10 p. 100 d'oxyde de cuivre, quelques traces d'acide arsénieux, et le résidu, qui est noir et inattaquable, contient tout l'arséniure et la gangue insoluble. La composition du minéral est variable à cause de la proportion variable de gangue siliceuse et d'oxyde de cuivre dont il est pénétré; c'est à cause de ces deux derniers éléments que la densité de ce minéral est plus faible que celle de chacun des métaux qui entrent dans sa composition. L'analyse d'un fragment parfaitement homogène m'a donné pour résultat :

Oxyde de cuivre. . .	10,02	
Cuivre.	41,86	$(Cu, Ag, Bi)^{18}$ Ar.
Argent.	28,98	
Bismuth.	6,91	
Arsenic.	6,70	
Gangue.	5,01	
	99,48	

6. *Oxyarséniure de cuivre.* — Parmi les minéraux qu'on prend ordinairement pour des arséniures de cuivre, il y en a qui sont, à ce qu'il me semble, des oxyarséniures. Ces minéraux, difficiles à distinguer des arséniures, sont d'un blanc d'argent dans la cassure fraîche, mais la couleur et

l'éclat changent bientôt au contact de l'air, et la cassure prend superficiellement l'aspect de celle de certaines variétés de cuivre pyriteux et de l'arséniure natif, Cu^6Ar.

J'ai trouvé que l'oxyarséniure n'est jamais accompagné de sous-oxyde, Cu^2O, qui est ordinairement le compagnon de l'arséniure.

Un échantillon envoyé par moi à l'École des mines provenait des mines de cuivre de *Caleo* (situées près de Tiltil, sur le chemin de fer de Santiago à Valparaiso); il m'a paru être le type des minéraux de cette espèce. Il est homogène; sa structure est grenue; sa cassure, plane, d'un blanc d'étain, prend promptement une teinte jaunâtre et conserve longtemps son éclat. Le minéral est dur, cassant; fondu dans un creuset de porcelaine qu'on introduit dans un autre, avec un morceau de charbon placé entre les deux couvercles pour absorber l'oxygène pendant le refroidissement, on obtient du cuivre rouge, qui est difficile à dégager de la masse de l'arséniure, et le minéral perd environ 8 p. 100 de son poids.

L'analyse de l'échantillon m'a donné :

Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique pur, faible, à chaud, 80,14, contenant	Cuivre.	66,14 (6)
	Arsenic.	14.00 (1)
Partie qui s'est dissoute dans l'acide chlorhydrique, sans dégagement de gaz, 19,86	Oxyde de cuivre. (Cu O).	16,17
	Oxyde de fer. . .	1,00
	Acide arsénieux.	1,70
		99,01

En supposant que l'oxyde de fer se trouve combiné avec l'acide arsénieux, j'en déduis que l'arséniure, Cu^6Ar, et l'oxyde, CuO, doivent s'y trouver en proportions atomiques de 7 : 8, et probablement de 1 : 1, si une partie de l'oxyde de cuivre est combinée à l'acide arsénieux.

7. *Sous-arséniure de cuivre* qu'on désigne sous les noms

de *darwinite* ou de *whitneite.* — J'ai envoyé à l'École des mines quelques échantillons de cette espèce, entre autres un morceau qui ressemble dans sa cassure au polyarséniure d'argent, de cuivre et de bismuth, que je viens de décrire § 5. Ce morceau peut donner l'idée de la manière dont se trouve le minéral dans la nature, formant une veine presque pure, de courte durée, qui croise le filon principal de minerai sulfuré de cuivre dépourvu d'arsenic, dans la mine de Magdalena, au Cerro de los Puquios, département de Rancagua.

8. *Cuivre gris très-riche en argent* de Huanchaca, en Bolivie. — Ce cuivre gris, contenant 12 à 13 p. 100 d'argent, constitue la partie riche des minerais très-abondants des mines de Huanchaca, dont on vient d'acheter la moitié de la propriété pour 3 millions de piastres.

Le minéral a tout à fait les mêmes caractères extérieurs que le cuivre très-argentifère de Oruro et divers cuivres gris antimoniés pauvres en argent, ou n'en contenant que 1 à 2 p. 100, du Pérou et du Chili. Il forme des petits cristaux tétraédriques biseautés et d'autres dont les biseaux ont pris toute leur étendue; mais les cristaux sont rares et se cachent ordinairement dans les cavités de la masse amorphe, qui est d'un gris d'acier, à structure grenue, cassure inégale, etc. Les minéraux associés sont la galène, le sulfure d'antimoine, la pyrite et la blende, qui ne renferment que de très-faibles proportions d'argent.

9. *Cuivre gris antimonio-arsénié. Famatinite.* — Je dois la connaissance de cette espèce à M. Stelzner, professeur de minéralogie à l'Université de Cordova (province argentine), qui l'a découverte dans les mines de Famatina et lui a donné le nom de *famatinite.*

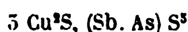
Selon M. Stelzner, ce minéral se trouve toujours amorphe, mais il forme quelquefois de tout petits cristaux in-

complets dont il est impossible de déterminer la forme; il accompagne ordinairement l'*énergite*, et M. Stelzner le considère comme une énergite antimoniée dans laquelle l'arsenic et l'antimoine se substituent mutuellement.

En effet, la famatinite ressemble par sa structure, son éclat et sa couleur à certaines variétés de l'énergite, particulièrement à celle qu'on rencontre dans la Hedionda, du département de Elqui (Chili); elle est d'un gris plus ou moins foncé, éclatant; sa structure, lamellaire, à lames allongées qui ne donnent pas de clivages aux angles déterminés; sa cassure transversale, grenue; son éclat se ternit par le contact prolongé de l'air. Ce minéral a été analysé par M. Siewert, professeur de chimie à l'Université de Cordova, qui a eu la complaisance de me communiquer les résultats suivants de son analyse :

	(1) de la Mejicana Upulongos.	(2) de la Mejicana Verdiona.
Cuivre.	45,39	44,59
Fer.	0,28	0,83
Zinc.	0,60	0,59
Arsenic..	4,03	4,09
Antimoine.	19,44	20,68
Soufre.	30,22	30,14
Gangue..	0,53	0,01

M. Siewert déduit de ces analyses la formule



$$3\,Cu^2S, (Sb.As)\,S^3$$

et pour le rapport de l'antimoine à l'arsenic, 12 : 4.

10. ***Épigénie de l'aragonite transformée en cuivre.*** — On trouve dans les mines de cuivre de Coro-Coro, en Bolivie, célèbres par l'abondance de minerais composés d'une espèce de grès cuivreux, dont on extrait par le lavage le cuivre en poudre (barrilla), des cristaux hémitropiques d'aragonite en prismes à six faces et aux angles rentrants sur les pans

verticaux du prisme. Ces cristaux, dont quelques-uns ont plus de 2 centimètres de diamètre, se trouvent à leur surface et en partie dans l'intérieur pénétrés de cuivre natif rouge. La masse intérieure des cristaux présente, quand on les ouvre, des pores et des cavités, et l'on y voit le cuivre métallique très-irrégulièrement réparti, tandis que la surface extérieure est toujours plus durcie et compacte. Les cristaux se trouvent toujours isolés au milieu d'une masse argileuse, quelquefois accolés les uns aux autres. On y rencontre aussi des groupements des mêmes prismes en boules.

On m'assure qu'on trouve dans les mêmes mines des cristaux d'aragonite complétement transformés en cuivre métallique.

11. *Hydroboracite* (Hayesine). — Ce minéral, qui n'avait été trouvé jusqu'à présent que dans la plaine où l'on exploite le salpêtre du Pérou, à une vingtaine de lieues de Iquique, vient d'être découvert dans diverses localités au milieu du désert d'Atacama, particulièrement au nord-est de Copiapó, dans l'intérieur des Cordillères, sur un plateau que traverse le Rio de la Ola. Le nouveau minéral diffère notablement par ses caractères extérieurs de celui du Pérou, qui forme ordinairement des petites boules à structure fibreuse. L'hydroboracite de la Ola se trouve en amas irréguliers et aussi en gros rognons arrondis, dont la croûte est durcie, et l'intérieur formé d'une masse spongieuse, tendre, compressible, d'un beau blanc de neige. L'eau froide lui enlève le sel marin et dissout une petite proportion d'hydroboracite sans le décomposer; l'eau bouillante dissout facilement tout le minéral; la dissolution a une forte réaction alcaline et donne un précipité abondant par l'oxalate.

Je me suis servi pour l'analyse de ce minéral de l'acide fluorhydrique, et j'ai dosé l'acide borique par expulsion.

Je trouve la partie spongieuse, la plus pure du minéral, composée de la manière suivante :

Eau qui se dégage à la température de 99° à 100°.		14,20
Eau qui ne se sépare qu'à la chaleur rouge.		26,20
Chlorure de sodium.		5,32
Acide borique.	31,36	
Soude.	10,72	
Chaux.	11,20	
Potasse.	0,68	
Magnésie.	0,81	
	54,77.	54,77
		100,49

En supposant que toute l'eau qui s'en dégage à la température plus élevée que 100° est de l'eau de combinaison, j'obtiens pour la composition du minéral desséché à 100 degrés et séparé du sel marin :

Acide borique.	38,74
Soude.	13,23
Potasse.	0,85
Chaux.	13,83
Magnésie.	1,00
Eau de combinaison.	32,35
	100,00

Ce minéral ne contient pas de traces d'acide sulfurique, qui est un des éléments de l'hydroboracite fibreuse du Pérou ; mais il est accompagné de sulfate de chaux et de plusieurs sels magnésiens et sodiques, que je n'ai pas encore examinés. Les dépôts de ces sels et d'hydroboracite forment des croûtes superficielles très-épaisses, étendues, à ce qu'on m'assure, très-irrégulièrement sur plusieurs lieues d'espace, au voisinage des terrains couverts de ponce et sur des hauteurs très-considérables.

12. *Chlorophosphate de chaux potassique.* — J'en ai envoyé à l'École des mines un gros cristal incomplet, dont la section a plus de 8 centimètres de diamètre sur 14 à 15 de longueur ; il m'a été donné par M. Sundt, savant voya-

geur norwégien, qui vient de découvrir ce minéral aux affleurements d'un filon de cuivre des mines de Los Granates, près de Copiapó. Les petits cristaux de ce phosphate sont plus parfaits, d'un blanc jaunâtre ou tirant sur le vert. On en trouve qui sont terminés par une pyramide surbaissée, hexagonale, qui ne fait pas disparaître totalement la base; les petits fragments sont à peine fusibles sur les bords; la poussière du minéral, traitée par l'acide sulfurique, n'accuse pas la moindre trace de fluor; soluble à froid, quoique lentement, dans l'acide nitrique, n'y laissant qu'un tout petit résidu silicaté; la dissolution se trouble quand on y ajoute du nitrate d'argent.

J'ai effectué l'analyse de ce phosphate par le mercure et l'acide nitrique, suivant la méthode donnée par M. Rose, et je le trouve composé de :

Acide phosphorique	38,9
Chaux	52,6
Potasse	4,4
Oxyde de fer	0,7
Résidu insoluble	0,9
Chlore	0,4
Perte au feu	0,5
	98,4

Les minéraux associés sont le cuivre pyriteux, l'amphibole, le spath perlé, le fer micacé.

On a trouvé le phosphate de chaux associé aux minerais de cuivre dans plusieurs autres mines de cuivre du Chili, et toujours dépourvu de fluor.

13. *Thénardite* cristallisée du désert d'Atacama. — On apporte maintenant des diverses localités d'Atacama, du côté de Caracoles et d'Antofagasta, des quantités de petits cristaux octaédriques à base rhomboïdale très-nets qu'on trouve près de la surface du sol imprégné de divers sels; mais je n'ai pas pu obtenir jusqu'à présent de données positives sur le gisement de cette matière.

14. *Daubréite (oxychlorure de bismuth), espèce nouvelle.* — Masse terreuse, d'un blanc jaunâtre ou grisâtre; sa véritable couleur, qui est d'un gris clair tirant un peu sur le bleuâtre, se voit mieux dans la cassure transversale aux fibres. La poussière ou matière terreuse dont il se recouvre et qui s'introduit dans les pores et entre les fibres du minéral est jaunâtre, quelquefois d'un jaune plus intense, et dans les parties un peu chargées d'oxyde de fer, ocracée; la raclure, même de la partie grise écrasée dans un mortier d'agate, est blanche. Point d'éclat, opaque; sa structure est terreuse, ou compacte passant à terreuse, avec tendance à présenter une structure fibreuse; aussi le minéral se fracture plus facilement dans un sens, parallèlement aux fibres, que dans le sens oblique à ces dernières. La dureté des morceaux les plus durs et tenaces n'est que 2 à 2,5; densité, 6,4 à 6,5.

Au chalumeau, il colore la flamme en bleu pâle un peu grisâtre. Si l'on expose au feu avec certaine précaution un fragment mince et allongé de ce minéral, il se fond à l'instant à son extrémité, produisant de la fumée, et la matière fondue est noire, compacte. Pendant qu'elle coule à la surface comme de la cire, la partie qui se trouve immédiatement au-dessous d'elle, et qui ne touche pas la flamme, devient de plus en plus jaune, d'un jaune orangé, et celle qui est au-dessous de celle-ci devient grisâtre, tout en gardant encore sa couleur blanche à l'autre bout du fragment engagé dans la pince.

Chauffée dans un tube fermé par un bout, la matière commence par changer de couleur et devient grisâtre, dégageant de l'eau qui a une réaction fortement acide. Si l'on prolonge l'action du feu, sans l'élever au point de fondre la matière, elle redevient jaune et il ne se produit point de sublimé.

L'acide chlorhydrique à chaud dissout facilement le minéral sans produire d'effervescence ni laisser de résidu.

La dissolution est d'un jaune plus ou moins intense, selon le degré de concentration, et, si l'acide s'y trouve en proportion suffisante, elle ne se trouble pas en ajoutant de l'eau. L'acide nitrique employé en excès dissout aussi le minéral quoique moins facilement que l'acide chlorhydrique, et laisse toujours un petit résidu insoluble dans lequel se concentre l'oxyde de fer contenu dans le minéral.

Dans l'analyse répétée sur divers fragments de la partie la plus pure du minéral, j'extrais :

89,60	p. 100	de sesquioxyde de bismuth,
7,50	*id.*	de chlore,
3,84	*id.*	d'eau,
0,72	*id.*	de sesquioxyde de fer.

Admettant que c'est le sesquichlorure de bismuth qui entre dans la composition du minéral et retranchant de la proportion de l'oxyde de bismuth que me donne l'analyse, celle du métal qui correspond à 7,50 de chlore pour former le chlorure $Bi^2\ Cl^3$, je trouve ce minéral composé de :

Sesquioxyde de bismuth.	72,60
Sesquichlorure de bismuth. . . .	22,52
Eau.	3,84
Sesquioxyde de fer.	0,72
	99,68

En faisant abstraction de l'eau, dont une partie peut appartenir à l'hydrate de fer, on voit que cet oxychlorure est formé de 4 équivalents de sesquioxyde de bismuth et 1 équivalent de sesquichlorure de même métal. En effet, la différence entre la composition théorique et celle que je viens de trouver pour l'oxychlorure natif $(Bi^2O^3)^4.\ Bi^2Cl^3$ est bien petite.

	Quantité	
	théorique.	trouvée.
4 équivalents de sesquioxyde de bismuth.	76,16	76,38
1 équivalent de sesquichlorure.	23,84	23,62

Ce composé occupe par conséquent une place intermédiaire entre les deux oxychlorures artificiels cités par MM. Pelouse et Frémy dans leur *Traité de chimie* (t. III, p. 895, 5ᵉ édit.), et ne fait que compléter la série suivante de trois oxychlorures :

artificiel.	natif.	artificiel.
$(Bi^2O^3)^2 . Bi^2Cl^3$	$(Bi^2O^3)^4 . Bi^2Cl^3$	$(Bi^2O^3)^6 . Bi^2Cl^3$

Les échantillons qui m'ont servi à découvrir cette nouvelle espèce minérale viennent du Cerro de Tacna, de la mine de bismuth de Constancia, en Bolivie, et je les dois à l'obligeance de M. Frank, ingénieur des mines de la compagnie chilienne de Huanchaca; le minéral que je viens de décrire paraît s'y trouver en abondance, il forme un des produits importants de la mine. Je prends la liberté de le dédier à mon illustre collègue de l'École des mines, M. Daubrée.

15. *Chloro-iodure d'argent et de mercure.* — Les minerais de Caracoles, dont les mines produisent encore annuellement plus d'un demi-million de marcs d'argent, présentent dans plusieurs composés le cas de l'association de l'argent et du mercure. J'ai déjà décrit un chlorure d'argent mercuriel et un sulfure d'argent mercuriel; je trouve maintenant parmi les échantillons qui m'ont été apportés de ces mines par mon élève, M. Silva, un chloro-iodure d'argent et de mercure, dont voici les caractères et l'analyse.

Amorphe, jaune, ressemblant par sa couleur au tocornalite (iodure d'argent et de mercure); il noircit rapidement par l'action de la lumière; sa structure est grenue, passant au compacte; sa cassure, plane ou inégale; la raclure, d'un jaune pâle. Le minéral se broie facilement dans un mortier d'agate et peut se réduire à l'état de poussière impalpable. Au chalumeau, dans un tube ouvert et à une température modérée, il ne produit qu'un sublimé blanc; mais quand

on chauffe la matière dans un tube un peu étroit et qu'on varie l'insufflation, en l'augmentant subitement et puis en la ralentissant ou en l'interrompant tout à coup, on voit se produire divers anneaux noirs, blancs et jaunâtres.

Ce minéral ne se réduit que difficilement et bien incomplétement par le zinc et l'eau acidulée; mais il se décompose sans difficulté par l'hydrosulfate. C'est aussi de ce dernier réactif que je me suis servi pour l'analyse, et je trouve :

Mercure.	18,0	p. 100.
Argent..	14,8	—
Iode.	9,3	—
Chlore.	4,7	—

Le reste est formé d'une gangue insoluble qui contient du sulfate barytique et une légère proportion de sulfate de plomb. A en juger d'après les proportions dans lesquelles se trouvent ces quatre éléments combinés, je pense que tout le mercure doit y être combiné avec l'iode, et l'argent avec le chlore, formant :

Chlorure d'argent.	19,5
Sous-iodure de mercure (Hg^2I).	22,7

La réaction au chalumeau démontre qu'à une certaine température ces deux corps se décomposent réciproquement, et à d'autres moments il ne se volatilise que de l'iodure de mercure ou un mélange d'iodure et de mercure métallique.

On m'assure que quelquefois ce minerai se montre en quantité considérable dans les mines de Caracoles; mais on l'a confondu jusqu'à présent et envoyé aux établissements d'amalgamation avec d'autres minerais chlorurés ordinaires.

16. *Sulfates de cuivre polybasiques.* — Le sulfate de cuivre simple, d'un beau bleu intense, transparent, pro-

vient de la décomposition des pyrites cuivreuses; mais il est rare qu'il se forme dans ce cas du sulfate simple sans renfermer une proportion variable de sulfate de sesquioxyde de fer. Ce dernier se trouve souvent en proportion tellement grande que le minéral forme une espèce d'alun cupro-ferrique aussi translucide ou transparent que le sulfate simple, dont il diffère par sa couleur, d'un bleu plus pâle que celle du sulfate neutre de cuivre artificiel.

Ainsi l'on vient de découvrir dans les Cordillères situées en face de la capitale de Santiago, vallée de San Francisco, des mines de cuivre qui portent le nom de Los Bronces, abondantes en minerais pyriteux et sulfatés, où l'on trouve des masses de cuivre pyriteux traversées par des veines de sulfate bleu et recouvertes de ces sulfates de cuivre disséminés ou formant des masses irrégulières. Les veines minces, tout au plus de 3 à 4 millimètres de largeur, d'un beau bleu, sont ordinairement formées de sulfate de cuivre simple ne contenant qu'une très-petite proportion d'oxyde de fer, tandis que les veines irrégulières plus larges ne renferment que des sulfates à double ou triple base, toujours très-hydratés.

Je viens d'analyser un échantillon de ces sulfates, dont voici les caractères :

Amorphe, d'un bleu céleste clair, fortement translucide, en petits fragments transparents; structure fibreuse; parfois on y découvre quelques lames allongées dans le sens des fibres; éclat vitreux; saveur astringente, métallique. Le minéral n'est pas déliquescent, mais il se couvre extérieurement d'une pellicule blanchâtre sous-sulfatée; il se dissout facilement dans l'eau froide, donnant une dissolution qui a la réaction acide; mais par l'ébullition, il se dépose un sous-sulfate de peroxyde de fer, en proportion de 3 à 4 p. 100 du poids de la matière, et qui entraîne à peine quelques traces de cuivre.

Opérant sur divers fragments de ce minéral, j'obtiens pour sa composition :

		Oxygène.
Acide sulfurique.	28,96	(17,4)
Sesquioxyde de fer qui ne se sépare pas par l'ébullition prolongée.	9,80	(2,8)
Sesquioxyde de fer que l'ébullition sépare à l'état de sous-sulfate.	2,28	
Oxyde noir de cuivre.	14,39	(2,9)
Magnésie.	0,85	(0,3)
Alumine.	traces	
Eau (par différence).	43,72	
	100,00	

Si l'on élimine la petite proportion d'oxyde de fer qui se sépare par ébullition à l'état de sous-sulfate (et qui est soluble à froid dans la dissolution du sel double), on trouve que ce minéral, par sa composition, se rapproche de la formule générale des aluns, dans laquelle l'alumine est remplacée par le sesquioxyde de fer et la base alcaline par le protoxyde de cuivre CuO :



$$CuO, SO^3 + Fe^2O^3, 3SO^3 + nAq.$$

Il me reste quelques doutes sur la proportion de l'eau qui varie notablement d'un échantillon à l'autre. Quand on calcine ce minéral dans un creuset de platine, la presque totalité de l'eau de combinaison se dégage au rouge naissant, et il reste un résidu anhydre blanc ; si ensuite on augmente le feu, on obtient une matière noire qui ne retient que 2 à 3 millièmes de l'acide contenu dans le minerai non calciné.

Je dois ajouter que M. Krönnke, de Copiapó, vient de reconnaître l'existence d'un autre sulfate polybasique qui est un sulfate de soude et de cuivre, très-abondant dans les mines de Calama, sur le chemin de Cobija à Potosi. Voici les caractères de cette nouvelle espèce, que M. Krönnke a très-bien décrite et définie :

Ordinairement amorphe, mais il se présente aussi cristallisé en prismes qui paraissent appartenir au système triclinique; sa couleur est d'un bleu céleste tout à fait pareille à celle de l'espèce précédente, plus pâle que celle du sulfate de cuivre artificiel; translucide et transparent; éclat vitreux vif; structure lamellaire à lames allongées et fibreuses; un clivage net, facile, parallèle à une des faces du prisme, un second, oblique, moins net. Soluble dans l'eau froide, donnant une dissolution légèrement acide et qui se trouble par l'ébullition prolongée, mais il ne se forme dans ce cas qu'un petit dépôt vert de sous-sulfate de cuivre, dont le poids n'arrive pas à 1 p. 100 du poids du minéral.

L'analyse de M. Krönnke donne pour la composition de ce minéral, comparée à celle qui correspond théoriquement à la formule $CuO,SO^3 + NaO,SO^3 + 2HO$, les chiffres suivants :

	trouvé par l'analyse.	par le calcul.
Sulfate de cuivre.	46,278	47,233
Sulfate de soude.	42,951	42,091
Eau.	10,771	10,676

17. *Antimoniate de plomb.* — M. Raymondi, qui, depuis bien des années, s'occupe de l'étude du règne minéral au Pérou, décrit dans son grand ouvrage sur le département d'Ancaches l'antimoniate de plomb, minéral d'un blanc jaunâtre, terreux, qui accompagne fréquemment les minerais de plomb argentifère de ce département.

La même espèce, qu'il est facile de confondre par ses caractères extérieurs avec l'arséniate de plomb terreux, accompagne la galène antimoniale au Chili. Ainsi, un échantillon de cette galène apportée de la Cordillère de Las Condes, Cajon de Valenzuela, recouverte d'une croûte de 3 à 4 centimètres, m'a donné pour la composition de cette dernière :

Oxyde de plomb.	52,60	
Oxyde de cuivre.	1,69	
Acide antimonique.	13,58	prenant 25,79 d'oxyde de plomb.
Acide arsénique.	3,46	
Acide sulfurique.	9,42	prenant 26,81 d'oxyde de plomb.
Eau.	4,63	
Matière insoluble, quartz.	13,72	
	99,10	

En supposant que l'oxyde de cuivre s'y trouve combiné avec l'arsenic, et éliminant le sulfate de plomb, je trouve que ce qui forme l'antimoniate de plomb de ce minerai se rapproche beaucoup par sa composition du minerai analysé par Hermann, provenant de Nerczinsk, et auquel on donne le nom de *Bindheimite*, $2PbO, Sb^2O^5$.

La masse dont je donne l'analyse n'est pas tout à fait terreuse; elle a une certaine dureté et porosité, et l'on distingue dans la cassure des parties blanches (sulfatées), d'autres jaunes (antimoniate de plomb) et quelques pointes vertes (cuivreuses).

18. *Huantajaïte* (chlorure double d'argent et de sodium). — Le même savant que je viens de citer, M. Raymondi, de Lima, a découvert une espèce fort intéressante composée, selon son analyse, qu'il a répétée sur divers échantillons, de

Chlorure d'argent.	11
Chlorure de sodium.	89

Ce minéral cristallise en cubes; ordinairement disséminé en petites particules cristallines, diaphanes, brillantes, il forme des croûtes minces de ce même aspect sur une gangue calcaire argileuse légèrement ferrifère; goût salé; mais son caractère principal est qu'en jetant une de ces particules incolores brillantes dans l'eau, à l'instant il se forme un précipité floconneux blanc de chlorure d'argent. Quand on mouille la pierre imprégnée de huantajaïte, il se produit

à la surface une matière laiteuse noircissant à la lumière, ce qui fait donner à ce minéral, par les mineurs du Pérou, le nom de *lechedor* (produisant du lait).

19. *Cuprocalcite.* — C'est encore un minéral découvert par M. Raymondi dans les mines de Canza, situées à peu de distance de Yca. Amorphe, d'un rouge de cinabre, opaque, compacte ; densité 3,9 ; dureté 3 ; faisant effervescence avec les acides. M. Raymondi y a trouvé :

Sous-oxyde de cuivre Cu^2O.	50,45
Chaux.	20,16
Acide carbonique.	24,00
Eau.	3,20
Oxyde de fer.	0,60
Magnésie.	0,97
Alumine et silice.	0,50
	99,88

Il considère ce minéral comme un carbonate double de chaux et d'oxydule de cuivre, hydraté :



$$Cu^2O, CO^2 + 2\,CaO, CO^2 + HO.$$

CONSIDÉRATIONS

SUR

L'EMPLOI EXCLUSIF DES RAILS D'ACIER

PAR

LES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER

Par M. G. BRESSON, ancien élève de l'École des mines.

Chacun sait avec quelle rapidité l'emploi de l'acier Bessemer, accueilli d'abord avec quelque méfiance lors de son apparition, s'est développé dans toute l'Europe, surtout pour la fabrication du matériel des chemins de fer. Tandis qu'il y a dix ans la production de ce métal n'était encore entre les mains que de quelques usines dirigées par des hommes éminents et particulièrement favorisées par la qualité exceptionnelle de leurs minerais, il s'est produit depuis dans presque tous les établissements métallurgiques un élan souvent peu raisonné vers ces fabrications nouvelles. On a vu des usines, ne possédant dans leur voisinage que des minerais de qualité inférieure et reconnus impropres à la fabrication d'un acier même médiocre, substituer les cornues aux fours à puddler, sans même s'être assuré, par des marchés à long terme, les matières premières nécessaires au roulement des nouveaux ateliers; d'autres établissements, ayant à lutter contre une situation financière défavorable et les dangers d'une concurrence excessive, ont cru se sauver en s'enfonçant plus avant dans l'abîme, et en faisant de grands sacrifices pour transformer les bases de leur fabrication. La France, il faut le reconnaître, a su, mieux que tout autre, résister à cet entraînement. Les

grandes sociétés industrielles, fortement administrées, telles que celles de Terrenoire, du Creusot et de Châtillon et Commentry, ont seules fait en grand les installations nécessaires pour maintenir la métallurgie française au niveau qu'avait atteint celle des pays voisins. Les autres usines ont procédé plus modestement; quelques cornues, quelques fours Martin se sont élevés çà et là; mais, surtout depuis la guerre de 1870, aucune société nouvelle ayant en vue la fabrication intensive de l'acier ne s'est fondée, et les puissants établissements que nous venons de citer, assurés de la clientèle des grandes compagnies de chemins de fer, trouvant en Italie, en Suisse, en Espagne, en Russie même des débouchés avantageux et proportionnés à leur force productive, ont continué leur développement progressif sans être directement atteints par la crise si sensible dans d'autres États.

En Autriche, en Allemagne surtout, il n'en a point été de même. Dans le premier de ces deux pays, l'effervescence industrielle, causée en 1867 par la solution relativement heureuse des graves problèmes politiques qui tenaient, depuis bien des années, l'activité du pays en suspens, la construction fiévreuse d'un grand nombre de chemins de fer malheureusement peu en rapport avec les besoins réels des régions traversées, ont déterminé la création de nombreuses usines, pressées de satisfaire aux besoins du moment, qu'on croyait devoir être plus grands encore dans l'avenir. Encouragés par l'exemple de Neuberg, où le procédé Bessemer, introduit dès 1864 sous la haute autorité de M. de Tunner, donnait alors les plus brillants résultats, toutes les petites usines de Styrie se sont réunies en plusieurs grandes sociétés anonymes, croyant le moment venu de répandre les minerais de Styrie sous forme de lingots d'acier aux quatre coins du monde. De vastes hauts fourneaux leur appartenant ont été construits aux portes de Vienne même; une usine à acier comprenant

jusqu'à dix fours Martin s'est établie dans le voisinage. Le mouvement s'est propagé jusqu'en Bohême où, à Teplitz, à Teschen, à Kladno, à Sbirow, des ateliers Bessemer se sont fondés, sans grandes ressources en minerais et en combustibles, mais avec la confiance extrême qui signale ces époques malheureuses. La crise financière, avant-coureur certain de la crise industrielle, est survenue en mai 1873, au moment où l'Exposition universelle montrait à l'Europe le produit de ces excès. La construction des nouveaux chemins de fer a été subitement arrêtée; les lignes construites, voyant décroître leurs recettes, ont réduit à leur tour les commandes de matériel pour leur entretien, faites dans les temps prospères avec une certaine prodigalité. Le malaise est venu, puis la gêne, puis la ruine. Les établissements voisins de la capitale et doués d'une vie purement artificielle ont été les premiers à éteindre leurs feux; ils en ont entraîné de plus forts dans la débâcle, et depuis deux ans on voit les sociétés métallurgiques les plus puissantes fermer leurs comptes d'exercice avec un déficit de plusieurs centaines de mille florins, sans qu'aucun symptôme certain fasse prévoir la fin prochaine de cette période douloureuse.

En Allemagne, les mêmes faits se sont produits pour des raisons analogues. De tout temps les Allemands ont aimé à faire grand. Il y a bien des années déjà qu'en traversant le bassin de la Ruhr, on était frappé par l'aspect de ces constructions monumentales qui faisaient du bâtiment d'un puits de mine une sorte de citadelle, et donnaient à la halle de coulée d'un haut fourneau les allures d'un château gothique. La gloire des armes ne pouvait qu'augmenter cet orgueil industriel et en accentuer les manifestations. Après la guerre, de vastes usines ayant, comme partout, surtout en vue la fabrication de l'acier, se sont dressées dans la région comprise entre Ruhrort et Dortmund, où la présence d'un bassin houiller admirable et le voisinage des minerais de Siegen et au besoin des fontes anglaises, donnaient, à

vrai dire, à ces nouveaux établissements de grandes chances de succès.

Mais, dans l'industrie (que de fois ne l'a-t-on pas éprouvé!), il ne suffit pas d'examiner comment et combien on peut produire, mais il faut surtout savoir comment et combien on peut vendre. C'est un calcul que ces luxueux établissements paraissent avoir fait un peu à la légère, car ce sont eux qui, dans l'Europe entière, offrent dans ce moment les prix les plus bas pour les rails d'acier, sans y être autorisés par un prix de revient beaucoup plus favorable que celui de leurs concurrents étrangers. Ils sont donc nés pour souffrir et pour faire souffrir les autres, ce qui est plus attristant.

Ces faits généraux exposés, entrons dans quelques détails sur les conséquences pratiques de cet excès de production, c'est-à-dire sur la baisse des prix qui en a été forcément la conséquence. A la naissance de l'acier Bessemer, qui coïncidait du reste avec une crise générale de l'industrie métallurgique, le prix des rails en acier variait à peu près dans toute l'Europe de 400 à 450 francs la tonne, et celui des bandages sans soudure, de 600 à 700 francs. A cette époque, avouons-le, les usines françaises, plus atteintes par la stagnation des affaires que celles des voisins, furent les premières à pousser à la baisse. Tandis qu'en Angleterre, où pourtant la fabrication du métal Bessemer prenait un grand essor, en Allemagne, où les usines d'Essen, de Bochum et de Hœrde s'efforçaient aussi de propager l'emploi du nouveau produit, les prix de vente se maintenaient dans les limites ci-dessus indiquées, l'usine de Terrenoire passait, en 1868 et 1869, avec la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, des marchés importants à des prix inférieurs à 300 francs par tonne. C'étaient de grandes concessions pour l'époque et hors de proportions avec la situation générale du marché; les autres usines françaises durent toutefois suivre le mouvement, et au moment où la

guerre de 1870 éclata, c'est en France que les tendances à la baisse se manifestaient le plus ouvertement. La guerre, en faisant un usage violent des chemins de fer, et en supprimant en même temps pendant près d'une année la production de deux grands pays, devait amener la période trop prospère dont nous avons déjà signalé les effets. Les prix montent à des hauteurs inespérées ; mais, hélas ! le nombre des usines monte avec eux, plus vite qu'eux encore, et c'est ainsi que par suite d'une concurrence effrénée, les Allemands arrivèrent par une baisse progressive à offrir au commencement de 1876 les rails Bessemer à près de 200 francs la tonne à l'usine, tandis que les Anglais, les Autrichiens et les Français, montrant un peu plus de fermeté, traitent à des prix compris entre 220 et 260 francs, mais sans jamais atteindre ce prix de 300 francs, considéré longtemps comme la limite des concessions possibles.

Le prix des rails Bessemer s'est donc fort rapproché de celui des rails en fer et même, dans certains pays, est descendu au-dessous de ce qu'a été ce prix dans les années prospères. Ce fait n'aurait rien de surprenant si les fontes avec lesquelles les rails en fer sont fabriqués pouvaient être toutes indistinctement employées à la production du métal Bessemer. En effet, la dépense à faire pour passer de la fonte au lingot Bessemer prêt à être laminé n'est point supérieure, dans les ateliers bien montés, à celle qui résulte de la transformation de la même fonte d'abord en fer puddlé, puis en un paquet composé en partie de millbars et en partie de fer corroyé. Le réchauffage d'un lingot Bessemer, avec des fours bien construits, exige moins de combustible que celui d'un paquet pour rails en fer, et la main-d'œuvre du laminage est égale dans les deux cas. Les frais de fabrication sont donc à l'avantage du rail Bessemer ; mais il est un autre facteur du prix de revient dont l'influence est grande, c'est la qualité et par suite le prix de la matière première employée. Il s'en faut de beaucoup

que tous les minerais puissent être indistinctement utilisés à la fabrication de la fonte Bessemer. Il faut pour celle-ci des minerais qui soient à la fois *riches* et *purs*: *riches*, parce que s'ils ne remplissent pas cette condition, si la teneur moyenne du lit de fusion n'est pas d'au moins 40 p. 100, la quantité de laitier produite est trop considérable par rapport à la quantité de fonte, et que celle-ci ayant, par suite de la réduction partielle des éléments de ce laitier dans l'allure chaude nécessaire à la fabrication, une trop forte teneur en silicium et en métaux terreux, fait trop de déchet dans la cornue, et donne, en outre, un produit supportant peu la chaleur et difficilement laminable; *purs*, parce que si les fontes produites contiennent une quantité notable de soufre ou de cuivre, elles donnent des produits rouverains, si elles contiennent une proportion notable de phosphore des produits cassants à froid. Comme les minerais propres à la fabrication de la fonte Bessemer, même s'ils sont riches et purs, doivent en outre posséder une certaine teneur en manganèse, on voit à quelles conditions multiples le lit de fusion doit satisfaire.

Aussi peut-on dire sans exagération que la plupart des minerais répandus à la surface de l'Europe sont, au moins dans l'état actuel de l'art métallurgique, impropres à la fabrication de l'acier. Tous les essais faits avec les Black-bands de l'Angleterre, les minerais oolithiques du Luxembourg et de la Moselle, les minerais divers du centre de la France, de la Bohême et de la Silésie, n'ont donné que des résultats négatifs ou insuffisants. Par contre, les précieux minerais d'Afrique et d'Espagne se répandent sur la surface entière de la France, pénètrent même en Belgique et sur les bords du Rhin; les minerais spathiques de Styrie entrent en Bohême et envahissent déjà la Silésie pour alimenter un certain nombre d'usines allemandes.

On voit, en un mot, les minerais reconnus comme particulièrement favorables à la fabrication de l'acier par-

courir les distances les plus grandes pour arriver aux usines qui, guidées par des espérances trompeuses, se sont engagées dans la nouvelle fabrication sans en avoir les éléments sous la main. Or, il faut que ces transports se payent ; aussi voit-on, sauf précisément en Styrie et dans quelques régions très-favorisées, la fonte Bessemer se présenter sur le marché avec une cote spéciale, notablement supérieure à celle de la fonte de forge ou de moulage ordinaire. Comme les bons minerais, quoique existant sur quelques points en gisements considérables, ne sont point inépuisables, cette différence de prix devra plutôt augmenter que diminuer dans l'avenir, à moins qu'on ne trouve un procédé permettant de transformer en métal fondu homogène et résistant la fonte faite avec toute sorte de minerais. Bien des essais ont déjà été faits dans ce sens, mais aucun n'a, jusqu'à présent, permis de faire entrer en grand dans la fabrication du métal Bessemer les matières premières que nous énumérions tout à l'heure.

Il en résulte que l'abaissement excessif du prix de vente des produits en acier, et en particulier des rails qui, eu égard à leur masse, jouent par rapport aux autres articles tels que bandages, essieux, tôles, etc., un rôle si prépondérant, doit être considéré comme illogique, contraire à l'ordre naturel des choses. Étant donnée la différence de valeur entre les minerais à acier et les minerais ordinaires, différence qui, nous le répétons, doit, à moins de découvertes imprévues, s'accentuer encore dans l'avenir, étant donnés de plus les avantages incontestables que les compagnies de chemins de fer reconnaissent elles-mêmes tirer de l'emploi des rails d'acier, le prix de ces rails n'aurait jamais dû se rapprocher de celui des rails en fer au point de se confondre en quelque sorte avec lui. Malheureusement une concurrence déraisonnable est venue compromettre la situation. On a voulu faire de l'acier quand même, de l'acier à tout prix. Bien avant que les chemins de fer ne

demandassent plus que de l'acier, les usines elles-mêmes ne voulaient plus offrir que de l'acier, et l'on en est venu à vendre ce précieux métal à un prix qu'avec plus de sagesse on eût fait encore accepter pour le rail en fer des anciens temps. Les fabricants se sont donc, comme on dit vulgairement, gâté le métier. Nous savons que l'abaissement des prix par le développement de la concurrence est une loi générale, contre laquelle il serait puéril de s'élever, mais il nous semble que, dans le cas présent, les maîtres de forges ont pourtant un peu dépassé la mesure.

Non contents de séduire leur puissante clientèle par des réductions de prix inespérées, les producteurs d'acier lui ont encore offert l'appât de garanties exagérées. Dans ses premiers marchés, l'usine de Bochum donnait, pour des rails en acier doux ne contenant pas en moyenne plus de 0,25 p. 100 de carbone, une garantie de douze années. La plupart des usines autrichiennes acceptent aujourd'hui des garanties de huit à dix ans, tout en étant obligées par les épreuves au choc, qui sont plus sévères en Autriche qu'en France, de fabriquer un acier doux. Ces garanties ne présentent pas de grands inconvénients lorsqu'elles concernent des lignes à faible trafic, et la plupart des chemins encore récents de l'Autriche, de la Hongrie surtout, rentrent dans cette catégorie ; mais sur des lignes très-parcourues, nous croyons ces garanties trop élevées et peu justifiées par les relevés faits jusqu'à ce jour sur l'usure des rails d'acier. Ceux-ci, en effet, bien qu'à l'abri des exfoliations, des dessoudures, des aplatissements des rails en fer, s'usent aussi et même plus vite qu'on ne l'avait cru d'abord ; plusieurs compagnies ont reconnu que dans les parties accidentées de leur réseau, les réfections de voie par grandes sections pourraient devenir nécessaires après une période de quinze années. Il nous semble que dans de semblables conditions des garanties de dix à douze ans sont au moins imprudentes, car les usines s'exposent ainsi à voir ces réfections résul-

tant de l'usure normale se faire tout entières à leurs frais; les cornues Bessemer deviendraient donc un véritable tonneau des Danaïdes, se remplissant et se vidant sans cesse au bénéfice d'autrui. Enfin, si les usines y consentent, les compagnies de chemins de fer auraient certainement tort de ne pas l'accepter.

Celles-ci trouvant donc aujourd'hui dans les rails d'acier tout ce qui peut leur plaire, c'est-à-dire des prix trop raisonnables et des garanties qui ne le sont point assez, ne veulent plus entendre parler que de cette sorte de rails. Ce que nous disons ici s'applique encore plus à l'Autriche et à l'Allemagne qu'aux autres pays, dont nous connaissons moins la situation actuelle ; mais dans cette vaste portion de l'Europe, les lignes les moins importantes et les plus récentes, celles dont le trafic s'accommoderait encore le plus aisément de bons rails en fer, veulent faire comme leurs aînées et veulent aussi de l'acier en le payant, bien entendu, le moins cher possible, ce qui n'est que trop facile en ce moment. Pour les lignes nouvelles, les arguments sont les mêmes, de sorte qu'à moins d'un revirement que personne ne réclame encore, la fabrication des rails en fer aura bientôt complétement disparu. Nous avons déjà dit pourquoi cette situation, au point de vue de l'utilisation méthodique de nos richesses naturelles, nous paraissait fâcheuse; mais il se présente aujourd'hui une autre question, dans laquelle les minerais n'ont rien à voir, et qui paraît devoir amener de plus grandes complications pour l'avenir.

On sait que les grandes compagnies de chemins de fer, fondées dès l'origine de cette immense industrie, n'ont plus que rarement à faire des commandes de rails neufs dans le sens strict du mot. Ces commandes ne surviennent que pour la construction des lignes nouvelles, fait qui se produira de moins en moins par la suite, ou pour certains agrandissements de gare ou la pose de doubles voies, qui sur les grands réseaux est presque complète aujourd'hui. La plu-

part du temps, les traités pour la fourniture de rails sont des traités de transformation ; le chemin de fer livre à l'usine 1.400 kilogr. de vieux rails par exemple, et se contente en échange de 1000 kilogr. de rails neufs, ou bien reçoit une quantité de rails neufs égale à la quantité de vieux rails livrés, en payant par tonne une somme en argent égale à la plus-value du rail nouveau par rapport au rail ancien. Bien qu'il ne soit pas possible de composer les paquets à laminer uniquement avec de vieux rails, il y entre néanmoins une proportion assez forte de la vieille matière pour rendre ces sortes d'affaires acceptables ; la possibilité d'employer avantageusement l'excédant des vieux rail dans la fabrication des rails commandés sans échange rendait même souvent ces arrangements désirables. Mais il faut bien remarquer que la qualité des vieux rails, très-inégale comme chacun sait, n'était jamais un obstacle à leur rentrée dans la nouvelle fabrication. Pourvu que la couverte de tête et les angles inférieurs du paquet destinés à former les extrémités du patin fussent en fer de qualité convenable, les vieux rails devant former l'âme du rail et ses amorces dans la tête et le pied pouvaient être de provenance quelconque, phosphoreux, siliceux ou autres, sans que la qualité du rail, au moins dans la limite des exigences des compagnies de chemins de fer, s'en ressentît particulièrement.

Aujourd'hui les compagnies, tout en voulant employer uniquement des rails d'acier, veulent au moins autant se débarrasser des vieux rails en fer que l'acier est destiné à remplacer, et qui restant en leur possession encombreraient beaucoup leurs inventaires ; elles en sont donc venues à tenir aux usines ce langage :

« J'ai besoin cette année de 10.000 tonnes de rails d'acier pour l'entretien de mes voies ; je vous donnerai en échange 10.000 tonnes de rails en fer. Combien me demandez-vous pour la transformation ? »

C'est la réponse à faire à cette question que nous nous proposons d'étudier.

Avant d'examiner dans quelles limites cette transformation est économiquement avantageuse, il faut voir si elle est possible matériellement.

En ce qui concerne l'opération physique proprement dite, c'est-à-dire la mise en fusion de la vieille matière, abstraction faite des propriétés chimiques du produit fondu, le procédé Martin, basé lui-même essentiellement sur l'application du régénérateur de chaleur Siemens, est venu résoudre la question de la manière la plus heureuse. Tandis que les premiers fours, établis spécialement à côté des ateliers Bessemer pour refondre les déchets de la fabrication, ne traitaient guère que de l'acier de bonne qualité, et arrivaient difficilement à produire plus de huit tonnes de lingots en vingt-quatre heures avec un poids de combustible dépensé bien supérieur à celui du métal produit, on voit aujourd'hui les appareils du même système, plus habilement construits, produire dans le même temps de quinze à vingt tonnes, avec une dépense de combustible, qui dépend sans doute de sa qualité, mais en moyenne ne dépasse pas 1.000 kilogr. par tonne de métal. Il n'est pas douteux que de nouveaux perfectionnements ne viennent encore à se faire jour; le four Pernot, par exemple, avec sa sole tournante, paraît devoir réaliser un progrès aussi bien sous le rapport de la quantité produite que de l'économie du combustible. Mais dès aujourd'hui le four à gaz, qu'il soit à sole fixe ou à sole mobile, est pleinement entré dans la pratique de la grande industrie, et on y fond non-seulement des déchets d'acier, mais, ce qui est très-imporant, de vieux rails en fer dans une proportion qui peut être de 75 à 80 p. 100 du poids total de la charge.

Quant au prix de revient, il dépend forcément du prix des vieux rails employés, mais en ce qui concerne les frais

de fabrication proprement dits, ils sont très-admissibles et permettent aux nombreuses usines qui possèdent des fours Martin de concourir avec les ateliers Bessemer, qui présentent pourtant sous le rapport de la main-d'œuvre tant d'avantages.

Quant aux propriétés chimiques du produit, la question de l'emploi des vieux rails en fer est loin d'être aussi complétement résolue, et ici nous nous voyons forcé de recourir à quelques principes de chimie industrielle qui, hâtons-nous de le dire, vrais aujourd'hui, peuvent se modifier dans l'avenir. L'acier ou, si l'on veut, le fer homogène (il doit être bien entendu que nous laissons ici de côté la querelle de mots qui s'est établie sur la dénomination de ce produit), l'acier supporte aussi peu la présence des corps nuisibles que nous avons déjà signalés, à savoir le cuivre, le silicium, le soufre et le phosphore, lorsqu'il provient de vieux fers refondus dans un four Martin, que quand il est tiré directement des minerais par l'intermédiaire du haut fourneau et de la cornue Bessemer. De ces quatre corps, le *cuivre* est celui dont on parle le moins, parce qu'il n'existe le plus souvent qu'à l'état de traces insignifiantes, et que, par suite, son influence est plus rarement préjudiciable. Il se rencontre cependant dans les fers et les aciers fabriqués avec les minerais spathiques imprégnés de pyrite de cuivre et de malachite, et sa présence dans l'acier, toutes les fois quelle dépasse 0,1 p. 100, et même 0,05 p. 100, suivant certaines assertions, rend le métal cassant à chaud et expose à de nombreux rebuts dans la fabrication. Le *silicium*, qui, au contraire, se rencontre toujours dans l'acier, agit de la même manière, mais avec des effets moins sensibles; des lingots contenant 0,15 à 0,30 p. 100 de silicium se laminent encore facilement; on a même vu des aciers contenant 0,50 à 1 p. 100 de ce corps, mais ayant une faible teneur en carbone, supporter le laminage, mais donner toutefois des produits fragiles et d'un emploi peu

sûr. Le *soufre* rend aussi l'acier cassant à chaud et sa présence est fréquente, mais lui du moins peut plus facilement être combattu par la présence du manganèse qui, l'attirant à lui sous forme de sulfure de manganèse, l'entraîne en même temps dans la scorie. Reste le *phosphore*, le plus dangereux pour l'acier des quatre corps cités, celui contre lequel on a malheureusement peu de remède et qu'on rencontre si souvent aussi bien dans les rails à retraiter que dans les minerais que nous citions en commençant. Le phosphore, plutôt favorable que nuisible au travail de l'acier à chaud, rend le métal cassant à froid et par suite particulièrement impropre à la fabrication des rails, dans lesquels une rupture subite peut entraîner de si graves accidents. Il n'est pas facile de dire exactement dans quelle proportion la teneur en phosphore d'un rail devient dangereuse ; cela dépend évidemment du profil du rail par rapport au travail mécanique qu'il aura à supporter, c'est-à-dire de son poids par mètre courant réparti suivant les lois de la résistance des matériaux par rapport à celui des véhicules les plus lourds qui doivent circuler sur lui. Les appréciations sur cette teneur ont varié quelque peu. On considérait autrefois que, même dans des aciers doux, la quantité de phosphore contenu ne devait pas dépasser quelques dix-millièmes, de telle sorte que les minerais qui n'étaient pas presque entièrement exempts de ce corps devaient être éliminés de la fabrication.

La nécessité a conduit à reculer un peu cette limite, ce qui pouvait se faire sans inconvénient. On admet aujourd'hui que les aciers pour rails, même avec la teneur en carbone résultant de l'emploi du spiegeleisen ordinaire, peuvent contenir 0,1 p. 100 de phosphore sans cesser de résister aux épreuves de réception imposées par es compagnies.

Malheureusement ce chiffre ne laisserait encore qu'une bien faible latitude pour l'emploi des vieux rails en fer.

Les analyses montrent, en effet, que la grande majorité de ces rails possède une teneur bien supérieure; il en est dans lesquels elle va jusqu'à 0,6 et 0,7 p. 100; ce sont sans doute des exceptions, mais dans la plupart des cas, la proportion du phosphore varie entre deux et quatre millièmes, et la transformation de ces vieux rails en rails d'acier serait par suite tout à fait inadmissible, si l'emploi de palliatifs dont nous allons parler ne permettait pas d'utiliser dans une certaine mesure ceux qui se rapprochent le plus de la limite inférieure indiquée.

Comme on le sait, le phosphore, qu'on peut éliminer en partie dans le puddlage grâce à la présence d'une scorie basique se produisant dans une atmosphère oxydante, reste dans le bain métallique formé par le four Martin. La totalité ou la presque totalité du phosphore passe donc dans le produit final et s'y concentre même par suite du déchet de fer qui résulte de l'opération. Mais, si l'on ne peut faire disparaître le phosphore, on peut neutraliser ses effets, et voici comment :

Chacun connaît le rôle considérable que joue le carbone par son association avec le fer. C'est lui qui, existant dans la proportion de quelques centièmes dans la fonte et de quelques dix-millièmes dans le fer doux, communique à ces deux matières et à leurs intermédiaires des propriétés si diverses, mais qui se résument toutes dans ce fait que le fer devient d'autant plus dur, c'est-à-dire d'autant plus résistant à l'usure par le frottement, et en même temps d'autant plus cassant, c'est-à-dire d'autant moins résistant aux avaries par les chocs, qu'il renferme une proportion de carbone plus élevée. Autrefois on attribuait au carbone seul le pouvoir de modifier la qualité du fer, ou plutôt, les observations chimiques étant beaucoup moins entrées dans le domaine de la pratique qu'elles ne le sont aujourd'hui, on n'accordait d'attention qu'à ce corps. On a reconnu depuis que d'autres substances, le phosphore entre autres, pou-

vaient agir de la même manière. On a donc pensé que si, dans des rails ne contenant pas, au moins en proportions sensibles, d'autres corps que le carbone, on pouvait avoir une teneur en carbone de 0,4 à 0,5 p. 100 sans être exposé à des ruptures, il serait possible, dans un acier contenant en outre du phosphore, d'arriver à une qualité semblable en remplaçant une partie du carbone par le phosphore, dont la présence est dans tous les cas inévitable, et en ayant, par exemple, une teneur de 0,25 p. 100 de carbone et de 0,25 de phosphore. Le phosphore deviendrait donc en quelque sorte un succédané du carbone, et, dans le cas où l'élimination du carbone pourrait être complète et où le phosphore jouirait exactement des mêmes propriétés que lui, on pourrait avoir de l'acier au phosphore, c'est-à-dire des rails résistants, tenant 0,4 à 0,5 de phosphore sans carbone et permettant par suite l'emploi en masse des vieux rails en fer phosphoreux.

Le but à atteindre était donc de fabriquer un métal fondu contenant aussi peu de carbone que possible. Or, dans le four Martin, même avec une atmosphère légèrement oxydante et des additions de fer aussi doux que possible, on ne peut faire disparaître entièrement le carbone de la fonte chargée au commencement, non plus que celui des autres matières ajoutées; on arrive, sans pouvoir obtenir cette élimination, à former dans le bain métallique des oxydes de fer qui doivent être détruits au moment de faire la coulée par l'addition d'une matière réductrice.

Cette matière était autrefois le spiegeleisen, fonte spéciale contenant environ 7 à 8 p. 100 de manganèse et 4 à 5 p. 100 de carbone. Le manganèse ayant pour l'oxygène une affinité plus grande que le fer, surtout en présence d'une scorie siliceuse capable d'absorber l'oxyde de manganèse produit, cette addition de spiegeleisen assurait la

réduction du fer brûlé et la bonne qualité du produit ; mais pour rendre cette réduction complète, il fallait ajouter une proportion d'environ 10 p. 100 de spiegeleisen de la composition indiquée ci-dessus, et par suite introduire dans l'acier une notable quantité de carbone, qui, lui aussi, contribuait à la réduction en se transformant partiellement en oxyde de carbone, mais restait néanmoins en grande partie dans le métal et lui donnait ainsi une teneur de ce corps s'élevant à 0,3 à 0,4 p. 100, même quand on réduisait autant que possible la proportion de spiegel en vue de produire des aciers moins carburés. Pour diminuer cette introduction du carbone, on a donc cherché à produire des spiegeleisen extra-manganésés contenant 20 à 30 p. 100 de manganèse, et donnant par suite, dans un poids moindre de fer et de carbone, une plus grande proportion de l'élément essentiellement réducteur. Ces premiers essais ayant réussi, l'usine de Terrenoire, qui s'est faite l'ardente propagatrice de cette méthode de traitement, en est venue à fabriquer un corps désigné sous le nom nouveau de *ferro-manganèse* et pouvant contenir jusqu'à 60 p. 100 de manganèse métallique, en conservant la même teneur en carbone, de 4 à 5 p. 100. Si donc dans une charge de four Martin de plusieurs milliers de kilogr., contenant avant l'addition réductrice environ 0,1 p. 100 de carbone (et quelle que soit l'énergie de l'affinage, il est difficile, même en brûlant beaucoup de fer, de descendre au-dessous de ce chiffre), on ajoute 1 à 2 p. 100 de ce ferro-manganèse, la réduction se produit tout entière par scorification du manganèse, la teneur en carbone se trouve à peine portée à 0,2 p. 100 et place est faite ainsi à 0,2 p. 100 de phosphore pour arriver au total de 0, 4 p. 100 des éléments durcissants nécessaires à la durée du rail sans compromettre sa ténacité.

On aurait ainsi, par l'emploi du ferro-manganèse, gagné environ un millième pour la teneur possible en phosphore, et, certes, ce résultat n'est pas à dédaigner, puisqu'il

entr'ouvre au moins à la transformation des rails en fer en rails d'acier une porte qui, sans cela, eût été presque complétement fermée. Mais on ne s'en tient pas là. Le manganèse, prétend-on, joue lors de l'emploi du ferro-manganèse, non-seulement une action réductrice et purificatrice, mais ce métal lui-même, en étant introduit dans l'acier, en s'alliant à lui dans une proportion qui peut aller à 0,5 et même 1 p. 100, modifie ses propriétés, le rend moins cassant et lui permet de supporter la présence de 0,3 à 0,4 p. 100 de phosphore sans cesser de posséder les qualités de résistance exigées par les compagnies de chemins de fer. Gloire donc au manganèse ! C'est lui le remède ! c'est lui le sauveur ! Grâce à lui, tous les rails en fer peuvent être transformés en rails d'acier, quelles que soient leur qualité et leur provenance.

Voilà ce que nous lisons dans plusieurs publications industrielles. Sans nier que la présence du manganèse dans l'acier puisse modifier avantageusement certaines de ses propriétés, nous ne croyons point que la solution soit aussi radicale qu'on se plaît à le répéter. Même en réduisant à 0,2 p. 100 la teneur en carbone, et il n'est pas facile de descendre régulièrement au-dessous de ce chiffre dans une fabrication courante, une teneur en phosphore de 0,25 nous paraît être, d'après le résultat de nos propres expériences, la limite permise par les exigences des épreuves au choc des compagnies de chemins de fer, au moins telles qu'elles existent en Allemagne et en Autriche. Ces épreuves sont-elles trop fortes ? On peut dire d'une manière générale qu'elles sont plus sévères qu'en France, ce qui peut s'expliquer par la différence du climat, plus rude dans ces pays, et causant en hiver de brusques abaissements de température auxquels les rails d'acier sont sensibles. Dans tous les cas, c'est aux chemins de fer plutôt qu'aux usines qu'il appartient de décider si ces épreuves sont faites dans des conditions de sécurité trop grandes par rapport au

travail réel que le rail a à supporter dans la voie, et s'il est possible d'en diminuer la rigueur. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que plus la hauteur de chute du mouton sera abaissée, plus la teneur en phosphore du rail essayé pourra s'élever et plus par suite on pourra transformer en acier une quantité considérable de ces vieux rails en fer qui constitueront bientôt un si grand embarras.

En parlant du rôle du manganèse pour la neutralisation du phosphore, nous n'avons pas fait mention du traitement du bain métallique par l'iodure de potassium, dont l'emploi fait un certain bruit en ce moment. Tout est possible, et si les expériences, dont nous entendons le récit, sont reconnues par plusieurs usines comme donnant des résultats satisfaisants, nous en ferons notre profit; mais au point de vue théorique, il nous semble difficile qu'une quantité aussi minime d'une substance volatile introduite dans un bain d'acier fondu pesant plusieurs milliers de kilogr. puisse y produire des effets bien surprenants. Nous attendons donc le résultat d'expériences plus concluantes pour voir dans l'emploi de l'iodure de potassium une nouvelle méthode de traitement des rails phosphoreux possédant des avantages assez grands pour apporter un changement notable dans la situation que nous constatons aujourd'hui.

Si maintenant nous reprenons la question que nous mettions tout à l'heure dans la bouche des compagnies de chemins de fer, voici, d'après nous, la réponse qu'il y aurait lieu d'y faire, en s'inspirant des considérations précédentes dans le cas où l'on en reconnaîtrait la justesse :

« Vous me demandez à quel prix je puis vous transformer « 10.000 tonnes de vieux rails en fer en 10.000 tonnes de « rails d'acier. Avant que je vous réponde, dites-moi quelle « est la teneur moyenne en phosphore de ces vieux rails en « fer, ou bien triez-les d'après leurs diverses marques et « laissez-moi faire pour chacune d'elles les analyses néces- « saires. Tous ceux qui tiennent moins de 0,2 p. 100 de

« phosphore, je m'engage à les transformer en rails d'acier « en les reprenant au prix moyen auquel je vous reprenais « autrefois les rails en fer, et en vous livrant les rails neufs « d'acier aux prix actuels du marché; quant à ceux qui « contiennent plus de 0,2 de phosphore, il faut vous rési- « gner à les reprendre sous forme de rails en fer, ou si vous « ne voulez absolument que de l'acier, je vous livrerai le « complément de votre commande en rails Bessemer faits « avec mes bons minerais, mais je refuse de reprendre vos « vieux rails, car je n'ai pour eux aucun emploi, ou, si je « les reprends, comme je suis exposé à les conserver dans « mon inventaire pendant un grand nombre d'années et « peut-être même à ne jamais m'en servir, je ne puis que « les reprendre à un prix presque illusoire, égal à celui de « mes plus mauvais minerais. »

Voilà ce que, selon nous, les usines devraient dire et ce que certainement elle ne diront pas, par suite de la concurrence excessive que nous avons signalée plus haut et qui oblige la plupart d'entre elles à travailler à leur ruine. Il faut que ces usines Bessemer, construites à la légère, aient des commandes, et qu'elles puissent montrer à leurs actionnaires combien leur construction a été avantageuse... au moins pendant une année. On acceptera donc de mauvais rails en fer qu'on payera cher, pour vendre à vil prix de bons rails en acier qu'on fabriquera avec des minerais rares et coûteux. On aura d'ailleurs l'espoir d'utiliser les vieux rails pour fabriquer des fers à I ou d'autres fers profilés n'exigeant point une bonne qualité ; mais il faut beaucoup de fers à I pour représenter 100 kilomètres de voie ferrée, et d'ailleurs, là aussi, les vieux rails ne peuvent pas être employés exclusivement.

On basera de grandes espérances sur l'emploi des traverses métalliques qui pourraient ouvrir aux fers de moindre qualité un important débouché. Ce sera sans doute un soulagement, mais malgré tout il est à craindre, si l'on persiste à

employer uniquement le rail d'acier, que le stock des vieux rails phosphoreux aille toujours en grandissant, et qu'un jour les usines surchargées de ces matériaux sans emploi suffisant doivent faire enfin la réponse que nous leur proposons aujourd'hui, et demander, ou bien le retour aux rails en fer dans une certaine proportion, ou bien l'achat des vieux rails phosphoreux à un prix à peu près nul. Dans ce cas, la valeur des rails Bessemer venant à augmenter par suite de la rareté des bons minerais et en tout cas par suite de l'augmentation de leurs frais d'extraction, et pouvant, surtout dans les bonnes années, beaucoup s'élever, les chemins de fer reconnaîtront peut-être qu'ils ont intérêt à ne pas avoir pour le fer tout le mépris qu'ils professent en ce moment, et à reprendre à un prix modéré et sous leur ancienne forme les vieux rails qui autrement resteraient sans valeur.

Si donc nous osions adresser aux compagnies un conseil dont l'application serait en ce moment, nous l'avouons, plutôt dans l'intérêt des usines que dans le leur, mais les préserverait pour l'avenir de fluctuations désagréables, ce serait de ne pas proscrire absolument l'emploi des rails en fer, et, tout en faisant usage de l'acier dans les parties de leur réseau où l'usure se fait surtout sentir, de conserver le fer là où le trafic n'exige pas de réfections trop fréquentes. Peut-être trouverait-on dans l'emploi des rails en fer à tête d'acier fabriqués avec soin une solution mixte pouvant donner de bons résultats. Plusieurs usines d'Allemagne fabriquent de grandes quantités de ces rails mixtes dont l'emploi a été reconnu satisfaisant. Dans tous les cas, il existe en ce moment en Europe au moins un million de tonnes de rails en fer, avec lesquels, dans l'état actuel des choses, on ne peut songer à faire de l'acier, et qui, par suite, ne peuvent être retravaillés que sous forme de rails en fer. C'est, nous persistons à le penser, se faire illusion que de croire possible l'écoulement de cette énorme quantité de vieilles matières sous forme de fers à I ou d'autres

fers profilés. Si donc à l'avenir on ne veut plus que des rails d'acier, il faut se résigner à voir cette masse de vieux rails de plus en plus dépréciée et valant à peu près autant que le ballast qui les supporte. Or ces rails sont en ce moment encore entre les mains des compagnies; ce sont donc elles qui devront, en fin de compte, supporter les conséquences de cette dépréciation. Les usines, en reprenant en ce moment de crise ces vieux rails à un prix trop élevé, auront peut-être la faiblesse de prendre une partie de la perte à leur compte, mais ces deux grandes branches de l'industrie sont trop étroitement liées pour que l'une puisse tirer longtemps profit du mal de l'autre. Or, nous le disons encore une fois, avec les vieux rails très-phosphoreux, il faudra refaire des rails en fer ou l'on n'en fera rien. La dernière solution deviendrait admissible dans le cas où, par suite de nouveaux progrès dans la fabrication et surtout de la découverte de minerais abondants, le prix de vente des rails Bessemer s'abaisserait tellement qu'il deviendrait inférieur à celui de la transformation des vieux rails en fer, même comptés pour une valeur nulle, en nouveaux rails en fer. Dans ce cas, ces vieux rails pourraient vraiment être considérés comme une matière stérile ayant joué son rôle dans le monde et bonne à être jetée avec les laitiers des hauts fourneaux. Peut-être en viendra-t-on là, mais en attendant nous pensons qu'il serait plus sage d'utiliser ces vieux rails peu à peu, en les mêlant par petites doses aux vieux rails d'acier, qui reviendront à leur tour au four Martin pour y être refondus, et en fabriquant avec le reste des rails en fer de bonne qualité, qui, après avoir été retirés de la voie, participeraient encore dans une certaine proportion à la fabrication des rails d'acier. On arriverait ainsi, par cette sorte de dilution successive du phosphore, à tirer parti de tous les vieux rails, en écartant des difficultés qui nous paraissent inévitables si l'on veut en refuser trop brusquement l'emploi.

Nous sommes loin d'attribuer à ces considérations plus d'importance qu'il ne convient. Dans la pratique des arts industriels, ce qui est vrai aujourd'hui cesse de l'être demain, et il suffirait d'une découverte heureuse pour réduire à néant toute notre argumentation. Nous avons cru pouvoir dire ici, en en forçant peut-être un peu les conséquences, ce qui nous paraît répondre à l'état actuel des choses. Si, par suite de nouveaux progrès, ces prévisions ne sont pas réalisées, comme ce sera pour le bien de tous, nous serons heureux de nous être trompé.

Vienne, le 26 juin 1876.

EXPLICATION

DES

PHÉNOMÈNES OPTIQUES ANOMAUX

QUE PRÉSENTENT UN GRAND NOMBRE DE SUBSTANCES CRISTALLISÉES

Par M. Er. MALLARD, ingénieur des mines,
Professeur à l'École des mines.

I. — Introduction.

La cristallographie a trouvé, on le sait, dans les phénomènes de la double réfraction, un instrument de recherches puissant et un réactif, dont la sensibilité est exquise, du degré de symétrie que possèdent les cristaux.

Pour apprécier ce degré de symétrie, les cristallographes ne disposaient jadis que des mesures goniométriques, et de l'étude attentive du nombre des faces qui, dans le polyèdre cristallin, se répètent en vertu de la symétrie. Malheureusement, et malgré les perfectionnements apportés dans la mesure des angles, ces procédés d'investigation ne sont pas toujours suffisants. Ils cessent en particulier de l'être dans un cas qu'il était permis de croire très-rare, et qui se trouve être au contraire un des plus fréquents de la nature : c'est celui où le réseau cristallin (*) possède ce qu'on appelle une forme-limite,

(*) On sait que, dans ses belles études sur la théorie de la cristallographie, Bravais substitue à l'hypothèse des molécules de forme parallélipipédiqne d'Haüy, celle d'un réseau cristallin dont la maille solide est le parallélipipède d'Haüy; il y a une molécule à chacun des nœuds du réseau. Si l'on fait passer un plan par trois nœuds, on démontre qu'il y aura dans le même plan

c'est-à-dire où la maille solide de ce réseau (la forme primitive d'Haüy) est, par exemple, quadratique, tout en ayant l'axe vertical presque égal à l'axe horizontal, ce qui rend la forme primitive quasi-cubique ; orthorhombique, avec un angle des faces *m* voisin de 90°, ce qui rend la forme primitive presque quadratique, etc.

Supposons, pour fixer les idées, que le réseau soit orthorhombique et presque carré ; s'il se produit sur l'angle A un plan a^1, il y en aura trois autres répétés sur les trois autres angles A, parce que les quatre plans ainsi formés se trouvant rigoureusement identiques au point de vue du réseau, si les circonstances qui président à la cristallisation décident la formation de l'un d'entre eux, elles décideront aussi celle des trois autres. Les plans e^1 qui se produisent sur les quatre autres angles du prisme sont identiques entre eux ; ils le seraient aussi aux plans a^1 si le rhombe de la base était un carré ; mais comme il ne l'est qu'à peu près, les plans e^1 ne sont qu'à peu près identiques aux plans a^1. Cela suffit cependant pour que les circonstances qui décident la formation des a^1, décident aussi le plus souvent celle des e^1, et pour que la symétrie apparente du polyèdre cristallin soit quadratique, comme l'est la symétrie apparente de la forme primitive.

Il est vrai que les incidences des faces e^1, n'étant pas rigoureusement celles des faces a^1, il y aura là une manière de préciser la symétrie. Mais ces incidences, sans être égales, seront voisines les unes des autres, et les différences peuvent être assez faibles pour ne pas se distinguer aisément des erreurs d'observation. L'incertitude est d'ailleurs d'autant plus grande que, dans les cristaux qui présentent ces particularités, les incidences des faces varient

---

une infinité d'autres nœuds, formant un réseau, dont la maille plane est parallélogrammique. C'est un plan réticulaire du réseau cristallin.

généralement d'une façon légère d'un échantillon à l'autre, et que d'autres phénomènes très-curieux, que nous allons étudier avec soin, ceux des assemblages cristallins, viennent aider la nature à s'approcher de la symétrie parfaite, plus que ne sembleraient le permettre les lois de la cristallisation.

C'est ainsi qu'un grand nombre de substances, parmi lesquelles il faut citer les carbonates de la série barytique, étant orthorhombiques avec des angles voisins de 120°, présentent le plus souvent des formes dont la symétrie apparente est hexagonale.

Les phénomènes optiques permettent, dans ces cas douteux, de décider la question d'une manière rigoureuse. Ils doivent cette précieuse faculté à ce fait singulier que les cristaux peuvent approcher beaucoup d'une symétrie donnée, sans que les phénomènes optiques de double réfraction cessent de rester très-différents de ceux qui caractérisent ce genre de symétrie. Le fait a été mis hors de doute par les observations de Sénarmont, qui ont montré que des substances isomorphes, c'est-à-dire ayant des formes cristallines très-voisines, peuvent avoir cependant des constantes optiques extrêmement différentes.

Ce fait se rattache d'ailleurs naturellement à cet autre très-remarquable, que toutes les substances biréfringentes ne possèdent qu'une double réfraction très-faible, c'est-à-dire ont des axes d'élasticité optique très-peu différents les uns des autres.

Il faut conclure, en effet, de cette dernière propriété que si l'on possédait les formules mathématiques qui lient les axes d'élasticité optique aux axes cristallographiques, et si l'on développait ces formules suivant la loi de Taylor, les premiers termes du développement, contenant en facteurs les accroissements des variables, seraient nuls puisque la loi de première approximation de la double réfraction est que cette double réfraction n'existe pas. Les phéno-

mènes ne dépendent donc que des termes qui contiennent les puissances secondes des accroissements des variables. Les lois de ces phénomènes ne satisfont donc plus à la proportionnalité entre l'effet et la cause; en d'autres termes, dans le voisinage de la valeur des variables, pour laquelle les phénomènes sont nuls, ceux-ci peuvent être encore très-notables.

Quoi qu'il en soit, cette propriété des phénomènes biréfringents en fait un réactif des plus sensibles pour le degré de symétrie des cristaux, et leur introduction dans la science a conduit à changer, pour un grand nombre de substances, le système cristallin qui leur était autrefois attribué. C'est ainsi que M. Des Cloiseaux a établi que l'enstatite (SiO^2, MgO) cristallise dans le système orthorhombique et non dans le système clinorhombique comme le pyroxène [SiO^2 (Ca, Mg) O]; que l'hypersthène, est orthorhombique; qu'au contraire la rhodonite (SiO^2MnO), considérée jadis comme isomorphe avec le pyroxène, est triclinique; que le groupe des épidotes comprend des substances orthorhombiques (zoïsite) et des substances clinorhombiques (épidote) que ne paraît jusqu'ici distinguer aucune différence de composition; etc., etc.

Il faut remarquer que ces résultats, obtenus par l'étude des phénomènes optiques, augmentent de jour en jour le nombre des substances, présentant le cas singulier d'une forme primitive limite.

La considération de ces formes primitives limites avait été introduite dans la science par l'étude du dimorphisme. On avait constaté en effet depuis longtemps que lorsqu'une même substance présente deux formes primitives incompatibles, appartenant le plus souvent à deux systèmes cristallins différents, ces deux formes sont toujours peu différentes, et la symétrie de la moins symétrique des deux est très-voisine de celle de l'autre. C'est ainsi que l'aragonite cristallisant dans le système ortho-

rhombique avec un angle voisin de 120° possède à peu près la symétrie ternaire de la calcite; que la brookite orthorhombique est à peu près quadratique comme le rutile; que l'épidote clinorhombique est à peu près orthorhombique comme la zoïsite, etc. On comprend donc sans peine qu'à mesure que l'observation dévoilait un nombre plus considérable de substances à forme-limite, elle constatait en même temps un nombre toujours croissant de cas de dimorphisme.

Malgré cette tendance de la science cristallographique moderne à recourir aux phénomènes optiques pour juger en dernier ressort du degré de symétrie des substances cristallines, et malgré les résultats brillants obtenus en suivant cette voie nouvelle, il s'en faut bien que les relations établies entre la double réfraction et la structure cristalline soient à l'abri de tous les doutes. On a constaté en effet depuis longtemps, et dès le début même des recherches de cette nature, qu'un très-grand nombre de cristaux présentent d'inexplicables anomalies. On les a provisoirement laissées de côté, et avec raison, lorsqu'il s'est agi de chercher les lois générales des phénomènes; mais la théorie et l'application qu'on en fait paraîtront toujours précaires tant que ces anomalies ne seront pas expliquées.

Elles ne sont d'ailleurs pas spéciales à un petit nombre de substances exceptionnelles. On peut dire, en effet, qu'il n'y a guère de cristaux cubiques qui, contrairement à la théorie, ne présentent des propriétés biréfringentes, souvent très-énergiques, comme il arrive pour la boracite ou la sénarmontite. Beaucoup de cristaux quadratiques présentent, au moins dans quelques plages et dans certains échantillons, les caractères des cristaux biaxes. Il en est de même pour beaucoup de cristaux hexagonaux et rhomboédriques. Enfin, un grand nombre de substances, comme le ferrocyanure de potassium, l'anal-

cime, etc., présentent des phénomènes qui ne paraissent convenir ni aux cristaux uniaxes ni aux cristaux biaxes.

Il semble qu'on se tirerait d'affaire en changeant le système cristallin auquel on rapporte ces substances anomales; il n'en est rien, et l'embarras véritable vient de ce que celles-ci ne présentent ni dans tous les échantillons, ni dans tous les points d'un même échantillon, des phénomènes identiques. Ces anomalies dénotent donc, sans aucun doute, une constitution intérieure irrégulière de l'édifice cristallin. Mais en quoi consiste cette irrégularité, et comment la concevoir dans des cristaux qui présentent souvent une translucidité et une limpidité parfaites, et dont la constitution chimique est incontestablement homogène?

Beaucoup de savants ont cherché la solution de ce curieux problème. Le premier essai d'explication générale a été tenté par Biot. Dans un mémoire étendu, inséré, en 1841, dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*, cet illustre savant, guidé sans doute par les idées d'Haüy sur la structure intérieure des cristaux et sur le rôle important que jouent les clivages dans cette structure, suppose que les cristaux anomaux sont formés à l'intérieur de lamelles superposées et comme empilées dans différents sens. Ces lamelles, quelquefois visibles à l'œil, plus souvent encore invisibles, font ressembler l'édifice cristallin à une ou plusieurs piles de glaces. De même que ces piles agissent sur la lumière polarisée, de même les lamelles cristallines, même monoréfringentes, peuvent présenter ce genre d'actions, et l'on s'explique ainsi que des substances cubiques monoréfringentes agissent sur la lumière polarisée, ou bien encore que des substances uniaxes se comportent comme des biaxes. C'est ce que Biot nommait la polarisation lamellaire.

Cette explication est insuffisante, car, ainsi que le fait remarquer Biot lui-même, la polarisation lamellaire proprement dite, telle qu'on la connaît dans les piles de glaces,

ne peut donner aucun phénomène chromatique du genre de ceux que présentent les substances cristallines anomales. Il faudrait donc recourir à une polarisation lamellaire d'une espèce particulière et inconnue.

Mais la théorie de Biot présente encore un autre défaut capital. Elle suppose, en effet, dans l'intérieur du cristal, l'existence de lamelles superposées, réellement séparées les unes des autres par des plans analogues à ceux qui séparent les lames d'une pile de glaces. Il faut que le rayon, tombant sur ce plan de séparation, se partage en deux, l'un réfléchi, l'autre réfracté, sans quoi tout phénomène disparaît, comme cela aurait lieu si l'on remplaçait la pile de glaces par une glace unique de même épaisseur. Or, cette hypothèse ne peut évidemment s'appliquer qu'aux cristaux dans lesquels on a provoqué des fissures intérieures correspondant aux plans de clivage. Dans tous les cas où ce phénomène, tout accidentel et tout exceptionnel, n'a pas lieu, les lamelles intérieures sont purement fictives et ne peuvent produire aucun phénomène.

Une autre hypothèse paraît encore plus inadmissible. Elle consiste à imaginer, dans les substances cristallisées, la production de couches successives dont la densité varie suivant une certaine loi, à la façon des couches du cristallin de l'œil, de celles des grains de fécule, des gommes, et en général des matières colloïdes. Ces substances agissent, comme on sait, sur la lumière polarisée. Cette action, se superposant aux phénomènes de la double réfraction ordinaire, les troublerait et produirait les anomalies constatées, sans qu'on puisse d'ailleurs expliquer le phénomène d'une manière plus précise. Or, il est évident que la structure constatée dans les corps colloïdaux n'est qu'une ébauche imparfaite de la structure cristalline, et qu'il est absolument irrationnel d'admettre qu'elle peut se superposer à celle-ci. Cette étrange hypothèse, qui n'explique d'ail-

leurs à peu près rien, ne saurait donc arrêter l'attention.

Il n'en est pas de même d'un autre genre d'explication qui consiste à admettre, dans les substances anomales, l'existence de cristaux ou de lamelles appartenant à des substances étrangères à la matière même du cristal. La possibilité de ces inclusions est bien connue depuis longtemps. Tous les géologues connaissent les cristaux de feldspath, pénétrés de quartz, de la pegmatite. L'emploi du microscope a permis de constater la réalité de semblables inclusions dans un très-grand nombre de substances. Il faut donc toujours, dans l'étude des phénomènes optiques, de même que dans l'analyse chimique des minéraux, se préoccuper de ces irrégularités intérieures. Toutefois, il faut ajouter que c'est surtout dans les minéraux engagés dans les magmas rocheux, minéraux presque toujours dépourvus de limpidité, que se produisent les intrusions. Celles-ci sont, d'ailleurs, si facilement et si nettement constatées lorsqu'on réduit le minéral en plaques minces et qu'on l'examine au microscope, que toute erreur peut être aisément évitée. Il y a donc là une cause d'erreur contre laquelle il est bon d'être prémuni, mais non une explication générale des phénomènes que nous étudions.

En somme, on ne connaît jusqu'ici aucune explication semblable; le présent travail a pour but principal de démontrer que les anomalies optiques, si nombreuses et si rebelles à toute théorie, sont une conséquence très-simple des positions diverses qu'un même réseau, à forme primitive limite, peut prendre dans l'édifice cristallin, sans que ce trouble intérieur se manifeste d'une manière apparente dans le polyèdre extérieur. Un individu cristallin d'apparence unique peut, en réalité, être formé par la combinaison ou l'*assemblage* de cristaux placés dans des positions différentes, mais recouverts, en quelque sorte, par une gaîne d'apparence uniforme. Je montrerai, par des exemples précis, que ce mode de structure appartient en

effet à beaucoup de substances reconnues anomales, et qu'elle suffit à expliquer, conformément à la théorie, toutes les anomalies constatées.

Mais avant d'entrer dans le détail de ces observations, il me paraît nécessaire de rappeler les faits acquis à la science sur le mode de structure des cristaux par combinaison ou *assemblage* de plusieurs cristaux intérieurs. Mettant à profit les belles théories de Bravais, je montrerai en outre la raison d'être de cette structure et les lois rigoureuses auxquelles elle est assujettie.

II. — Des assemblages cristallins.

Il y a longtemps que les cristallographes ont constaté et étudié les groupements que peuvent former entre eux les cristaux d'une même substance. Les premiers groupements dont on ait trouvé la loi sont ceux qui forment des *mâcles* ou *hémitropies*. On sait qu'ils consistent eu deux cristaux juxtaposés suivant un plan réticulaire (ou plan d'une forme simple) dont la position mutuelle est telle que l'un d'eux peut être considéré comme ayant tourné, par rapport à l'autre, de 180° autour d'une normale au plan de juxtaposition.

Bravais a donné l'explication rationnelle de ce phénomène. Il suppose le cristal en voie de formation; un plan réticulaire prend naissance; les molécules occupent dans ce plan les nœuds d'un réseau à maille parallélogrammique. Si l'on suppose que le réseau plan tout entier tourne de 180° autour d'une normale passant par un de ses nœuds, tous les autres seront restitués après la rotation, et le réseau plan paraîtra n'avoir pas changé de position. Un plan réticulaire quelconque peut donc servir de base, en quelque sorte, à la construction de deux cristaux, dont l'un pourra être considéré comme ayant tourné, par rapport à l'autre, de 180° autour d'une normale au

plan réticulaire commun. C'est le phénomène de l'*hémitropie*. L'explication suppose essentiellement que les deux cristaux hémitropes se juxtaposent suivant un plan réticulaire. Il y a alors juxtaposition de deux réseaux propres à chacun des cristaux ; il ne pent y avoir mélange et confusion de ces deux réseaux différents. C'est en effet ce que l'observation constate dans les mâcles bien connus du rutile, de la cassitérite, etc.

Je ne parlerai pas ici des groupements particuliers signalés et expliqués par Bravais dans les substances hémiédriques. Je dirai seulement que, dans les substances holoédriques, on a constaté depuis longtemps des groupements analogues à ceux que donne l'hémitropie, mais présentant cette particularité qui les en distingue profondément, c'est que les cristaux juxtaposés peuvent se pénétrer mutuellement, suivant les contours les plus capricieux. Il n'y a donc plus, à proprement parler, dans ce cas, de plan d'hémitropie.

De Sénarmont a particulièrement appelé l'attention sur les groupements de ce genre que présentent l'aragonite, la barytine et les autres carbonates du groupe barytique (*). On sait que ces substances cristallisent dans le système orthorhombique, mais avec cette particularité que l'angle du rhombe est voisin de 120°. Or, les individus cristallins que forment ces substances ne sont presque jamais uniques. Ils sont formés par des assemblages de cristaux ayant toujours les axes verticaux parallèles entre eux, tandis que les axes horizontaux sont à 60° ou à 120° les uns des autres. Non-seulement les surfaces de séparation de ces cristaux ne sont jamais rigoureusement des plans, mais encore les cristaux différents se pénètrent plus ou moins profondément, de sorte que, au milieu de l'un d'eux, on voit des plages appartenant à un ou à plusieurs des autres. L'enveloppe extérieure de ces assemblages singuliers ne

(*) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, p. 41 (1854).

porte d'ailleurs souvent pas de traces de ces enchevêtrements intérieurs, ou bien ceux-ci ne se traduisent que par l'existence de stries plus ou moins fines se dessinant sur les faces cristallines.

Ce phénomène, que l'on confond à tort avec celui de l'hémitropie, quoiqu'il en diffère d'une manière essentielle, est soumis à des lois simples que l'on peut déduire de la théorie.

Les groupements que nons étudions ne se présentent que dans les substances qui possèdent une forme primitive limite. Imaginons donc un tel réseau, et, pour fixer les idées, admettons qu'il possède rigoureusement la symétrie orthorhombique, et à peu près seulement la symétrie quadratique. Le réseau aura trois axes de symétrie binaire (c'est-à-dire tels que par une rotation de $\frac{2\pi}{2}$ autour de l'un d'entre eux, un centre moléculaire soit restitué à chacun des nœuds du réseau). L'un de ces axes c aura une grandeur quelconque (on sait que la grandeur d'un axe cristallographique est la distance qui sépare deux des nœuds consécutifs du réseau alignés le long de cet axe); on le placera verticalement. Les deux autres axes, a et b, que l'on supposera horizontaux, seront de longueur presque égale; si cette égalité était rigoureuse, l'axe c serait quadratique. J'imagine le réseau dans une position telle que l'axe c étant vertical, l'axe a soit parallèle au plan de la figure; le réseau dans cette position est ce que j'appellerai le réseau A. Je fais tourner le réseau de $\frac{2\pi}{2}$ autour de l'axe c, l'axe b devient parallèle au plan de la figure, et le réseau tout entier prend une nouvelle position dans laquelle je l'appellerai le réseau B.

Il résulte de la quasi-égalité des axes a et b que les deux réseaux A et B sont extrêmement près d'être identiques. Ils peuvent donc être assimilés aux réseaux de deux sub-

stances isomorphes et, comme ceux-ci, ils pourront s'associer entre eux dans un même cristal, en toutes proportions, sans que la cristallisation en soit troublée. Comme d'ailleurs les deux réseaux A et B peuvent se produire à la fois dans le liquide cristalligène, on pourra conclure que, sauf dans des circonstances de cristallisation exceptionnelles, tous les cristaux de la substance considérée contiendront à la fois des portions du réseau A et des portions du réseau B.

L'édifice cristallin sera élevé, si l'on peut s'exprimer ainsi, avec deux espèces de matériaux de construction, et deux espèces seulement.

Si, au lieu de partir d'un réseau orthorhombique quasi-carré, on part d'un réseau orthorhombique dont l'angle est voisin de 120°, on sait alors que le réseau possède autour de son axe vertical une symétrie presque *ternaire*, c'est-à-dire qu'en le faisant tourner de $\frac{2\pi}{3}$ autour de cet axe, un centre moléculaire est à peu près restitué à chacun des nœuds du réseau. En suivant une marche analogue à la précédente, on pourra donc placer le réseau dans trois positions différentes (et dans trois positions seulement) donnnant trois réseaux A, B, C, réalisant les conditions de l'isomorphisme. Les conclusions seront évidemment analogues, et l'édifice cristallin sera, si ce n'est dans des conditions exceptionnelles de cristallisation, composé de portions de réseaux, assemblés suivant une loi plus ou moins compliquée, mais appartenant exclusivement aux réseaux A, B, C. Tel est le mode d'arrangement de l'aragonite. En signalant la complication des assemblages présentés par les cristaux de cette substance, de Sénarmont faisait remarquer, non sans étonnement, que tous les cristaux individuels dont le cristal complexe est formé ont les axes verticaux parallèles. C'est en effet une conséquence nécessaire de la théorie que je viens d'exposer.

Si le réseau est presque cubique, il peut se présenter des cas assez nombreux. Je n'examinerai que les principaux.

Si le réseau possède un axe de symétrie réellement quaternaire, en faisant tourner le réseau autour des axes ternaires du cube (qui sont à peu près des axes de symétrie du réseau) on pourra amener l'axe quaternaire, et par conséquent le réseau, dans trois positions différentes, conduisant à trois réseaux réalisant les conditions de l'isomorphisme.

Si le réseau possède un axe de symétrie réellement ternaire, on arrivera de même à conclure que le réseau pourra se placer dans quatre positions différentes, donnant quatre réseaux isomorphes, et correspondant aux quatre directions de l'axe ternaire dans le cube. L'édifice cristallin pourra être composé de huit pyramides (opposées deux à deux) ayant le sommet commun et pour bases respectives les faces de l'octaèdre.

Si le réseau possède un axe de symétrie binaire, et si cet axe est presque quaternaire, on pourra d'abord, en le supposant simplement binaire, le placer dans les trois positions qu'il pourrait recevoir dans ce cas: puis, dans chacune d'elles, le réseau pourra être placé dans les deux positions rectangulaires entre elles qui dérivent de la symétrie quadratique approchée; on aura donc six positions du réseau. L'édifice cristallin pourra être composé de six pyramides ayant pour bases les faces du cube; chacune des pyramides étant composée de deux cristaux à angle droit.

Si l'axe binaire n'est pas quasi-quadratique, il devra coïncider avec un des axes binaires du cube, et comme il y a six positions de cet axe binaire, il y aura six réseaux possibles réalisant les conditions de l'isomorphisme. L'édifice pourra être formé de douze cristaux opposés par le centre et formant des pyramides ayant leur sommet com-

mun et pour bases respectives les faces du dodécaèdre rhomboïdal.

Le réseau pourrait d'ailleurs ne pas posséder même la symétrie binaire, tout en ayant approximativement la symétrie cubique. On raisonnerait alors sur un des axes de symétrie approchée, binaire, par exemple, comme précédemment. Chacune des six positions apparentes du réseau devrait ensuite être doublée, et l'édifice cristallin pourrait être formé de portions appartenant à douze réseaux différents.

Je ne pousserai pas plus loin cette analyse théorique du phénomène, dont mes observations feront connaître un grand nombre d'exemples.

Je viens de montrer que les substances dont le réseau cristallin possède une symétrie-limite peuvent présenter, dans leur édifice cristallin, des mélanges de deux ou plusieurs réseaux, formés par les positions différentes que prend le réseau unique de la substance en tournant de $\frac{2\pi}{n}$ autour d'un axe cristallographique ne possédant qu'à peu près la symétrie de degré n. Ces mélanges de réseaux pourront, d'ailleurs, se faire de bien des façons différentes. Les réseaux différents pourront s'isoler en quelque sorte, et l'édifice cristallin être constitué par des cristaux juxtaposés et formés respectivement par des réseaux à peu près uniques. C'est le cas constaté autrefois par de Sénarmont dans l'aragonite, et le sulfate rhombique de potasse; c'est aussi celui des cristaux de mésotype, de mésolite, d'harmotome et de la plupart des zéolithes. Le phénomène rappelle alors un peu celui des mâcles par hémitropie. Il en diffère profondément en ce que la séparation des réseaux n'est jamais tellement nette qu'un des cristaux ne présente dans son intérieur des portions irrégulièrement disséminées et formées par d'autres positions du réseau.

Il pourra arriver aussi que les réseaux différents, quoique

isolés en principe les uns des autres et constituant des cristaux juxtaposés, se mêlent, se pénètrent et se fondent, en quelque sorte, les uns dans les autres, dans des zones plus ou moins larges le long des surfaces de séparation.

Il peut encore arriver que les réseaux formant respectivement des cristaux différents, ceux-ci se groupent, se superposent et se mêlent confusément, les lois qui règlent l'orientation des axes étant toujours sauvegardées.

Enfin on conçoit que le mélange intime des réseaux puisse se faire dans toute la masse du cristal, et l'on ne pourra plus constater par l'observation directe la véritable symétrie du réseau cristallin de la substance. Celui-ci paraîtra hexagonal, par exemple, lorsqu'en réalité il n'est qu'orthorhombique de 120°.

Mais quel que soit le mode suivant lequel se groupent les réseaux isomorphes dérivant d'un même réseau à symétrie-limite, l'édifice cristallin qui en résultera sera produit par un phénomène entièrement analogue, sinon identique, avec celui de l'isomorphisme. Il devra donc présenter les mêmes particularités que celles que l'observation a fait connaître depuis longtemps dans les cristaux isomorphes et qui peuvent se résumer ainsi : les relations angulaires des divers plans du polyèdre cristallin sont intermédiaires entre celles qui conviennent à chacune des substances isomorphes, en se rapprochant davantage de celles qui conviennent à la substance dominante.

Recourons, pour plus de précision, à l'assemblage des réseaux A et B, dérivés d'un même réseau orthorhombique quasi-carré par la rotation de 90° autour de l'axe pseudoquadratique. Le polyèdre cristallin qui limitera l'édifice sera intermédiaire entre celui que donnerait le réseau A seul et celui que donnerait le réseau B seul. Il s'approchera donc plus de la symétrie quadratique que cela n'aurait lieu avec un réseau unique. Les angles du polyèdre

varieront, d'ailleurs, suivant la proportion qui présidera au mélange des deux réseaux.

Or des faits analogues se manifestent et sont connus depuis longtemps (sans qu'on en ait jamais donné une explication satisfaisante) dans tous les cristaux à forme-limite. En laissant de côté les feldspaths (qui présentent une des plus belles et des plus complètes applications de la théorie, mais dont l'étude est trop importante pour être abordée incidemment), je citerai particulièrement la *brookite;* cette substance présente une forme-limite, car, en doublant la hauteur du prisme adopté par M. Des Cloizeaux, les trois axes *a*, *b*, *c* ont pour longueurs respectives :

	a	*b*	*c*
	765	722	644
ou	1	0,946	0,847

Les deux axes *a* et *b* sont donc voisins de l'égalité. La forme est d'ailleurs voisine de celle du rutile (c'est, comme on sait, un fait constant dans les substances isomorphes), dont les axes cristallographiques sont, d'après M. Des Cloizeaux :

	a	*c*
	707	644
ou	0,930	0,847

Or il est facile de s'assurer que les cristaux de brookite ne sont jamais formés par un réseau unique. Les courbes obtenues à la lumière convergente sont très-nettement de la nature de celles que l'on obtient en croisant à angle droit des lames de mica. Aussi l'habile cristallographe de Vienne, M. Schrauf, dans un travail étendu sur ce minéral, a-t-il montré que les angles différaient presque dans chaque individu. Surpris de ces singulières anomalies, il a même proposé de rapporter la brookite à trois formes primitives différentes, ayant respectivement pour longueurs d'axes les nombres suivants :

	a	b	c
I.	1	0,927	0,8403
II.	1	0,938	0,847
III.	1	0,943	0,841

Ces faits sont entièrement conformes à la théorie, qui explique en même temps pourquoi l'axe *c* reste presque rigoureusement le même (les variations constatées sont de l'ordre des mêmes observations), tandis qu'il n'y a de variations que dans la longueur relative des axes horizontaux *a* et *b*.

Les curieux édifices cristallins, dont je viens de montrer la raison d'être et dont la structure obéit à des lois très-simples, que j'ai déduites de la théorie cristallographique générale, peuvent évidemment présenter des phénomènes optiques très-complexes.

Si l'édifice est formé par une simple juxtaposition des matériaux susceptibles d'entrer dans sa construction, les phénomènes optiques différeront suivant le sens dans lequel la lame cristalline observée sera découpée.

Si elle est normale aux plans de séparation des réseaux juxtaposés, la lame paraîtra découpée en plages plus ou moins régulièrement disposées, dont chacune manifestera des phénomènes optiques spéciaux. C'est ce qu'on a observé depuis longtemps dans les édifices cristallins de l'aragonite, de la withérite, de l'alstonite, de la mésotype, de la mésolite, etc. Si la lame est oblique aux plans de séparation des réseaux, il y aura en outre des plages où plusieurs réseaux se superposeront et donneront des phénomènes complexes. C'est ce que l'on observe, par exemple, en taillant un cristal d'aragonite de Bastènes suivant un plan oblique à l'axe vertical. C'est encore ce que l'on observe en examinant à la lumière convergente une lame de mésotype épaisse parallèle à l'axe vertical; on voit apparaître alors les hyperboles équilatères que présentent les lames cristallines croisées à angle droit.

Si les divers réseaux, dont l'édifice cristallin est formé, se mélangent, se fondent en quelque sorte l'un dans l'autre dans des plages plus ou moins étendues, celles-ci manifesteront, dans les lames qui les découperont, des phénomènes optiques analogues à ceux que présentent les lames de mica croisées dans les combinaisons de Norremberg et de Reusch, ou encore à ceux que présentent les cristaux formés par le mélange de deux sels isomorphes jouissant de propriétés optiques opposées. C'est ainsi que si l'édifice est formé par un réseau orthorhombique quasi-carré, prenant deux orientations rectangulaires l'une par rapport à l'autre, une lame taillée perpendiculairement à l'axe pseudo-quadratique montrera :

1° Dans les plages où les deux réseaux sont isolés :

a A la lumière parallèle, une extinction suivant les deux axes binaires du réseau; les plages appartenant aux deux réseaux s'éteindront à la fois, mais si l'on ajoute une lame sensible, elles prendront des colorations différentes qui permettront de les distinguer immédiatement;

b A la lumière convergente, les plages semblables montreront des lemniscates à axes parallèles; les autres, des lemniscates dont les axes seront perpendiculaires à ceux des précédentes;

2° Dans les plages où les deux réseaux sont en quelque sorte combinés :

a A la lumière parallèle, on ne voit plus d'éclairement dans un azimuth déterminé;

b A la lumière convergente, on voit se produire les anneaux circulaires avec croix noire des cristaux-uniaxes.

Dans les plages en quelque sorte intermédiaires, où les deux réseaux seront combinés, mais d'une façon non homogène, on aura dans la lumière parallèle des éclairements et des extinctions peu nets, et dans la lumière convergente, des lemniscates dont les pôles seront plus ou moins écartés, ou bien des croix noires plus ou moins disloquées.

On reconnaît à ces traits les principaux caractères des substances dans lesquelles on a reconnu des anomalies optiques. Malheureusement on se trouve arrêté dans le développement de cette explication si naturelle, par l'ignorance où l'on se trouve encore de la nature des phénomènes optiques que peuvent présenter des réseaux cristallins croisés suivant certaines lois. Les physiciens n'ont guère examiné théoriquement que deux ou trois cas des plus simples. Norremberg a montré expérimentalement qu'en croisant à angle droit des lames de mica suffisamment minces, on pouvait reproduire les phénomènes des cristaux uniaxes; Reusch a fait voir qu'en croisant ces lames suivant une certaine loi, on pouvait reproduire les phénomènes des cristaux uniaxes à polarisation rotatoire. Là s'arrêtent nos connaissances. J'étudierai, dans une note placée à la suite de ce mémoire, cette question intéressante. Il me suffit ici de constater l'analogie que les phénomènes des lames croisées présentent avec ceux des substances anomales. Les observations que je ferai connaître dans la troisième partie de ce mémoire démontreront, je crois, que c'est en effet à des assemblages du genre de ceux que je viens d'étudier, que les substances optiquement anomales doivent leurs propriétés singulières. Les exemples que je choisirai seront, je l'espère, assez nombreux et assez typiques pour ne laisser sur ce point aucun doute dans l'esprit.

Le mode d'observation que j'ai employé consiste à découper, dans chacune des substances étudiées, des lames orientées dans des sens bien déterminés par rapport à la direction des axes cristallographiques. Ces lames ont toujours été amincies autant qu'il était possible de le faire sans s'exposer à voir disparaître les phénomènes biréfringents; ce n'est en effet que dans des lames suffisamment minces que l'on a en général quelque chance d'observer les caractères optiques propres au réseau lui-même. Dès que les lames sont épaisses, il arrive le plus souvent qu'en un même point vien-

nent se superposer les effets dus à une ou plusieurs positions du réseau. C'est sans aucun doute à l'oubli de cette précaution qu'est due l'ignorance où l'on est resté jusqu'ici de la véritable nature des édifices cristallins que je décrirai. Lorsque cela m'a semblé nécessaire, j'ai joint d'ailleurs à l'étude optique des lames minces, des mesures goniométriques précises.

III. — Compte rendu des observations.

Pour introduire un certain ordre dans l'examen des substances que j'ai étudiées, je les diviserai en groupes correspondant au système cristallin auquel l'édifice appartient au moins en apparence. Je passerai ainsi successivement en revue les substances pseudocubiques, pseudoquadratiques, pseudorhomboédriques ou pseudohexagonales, etc.

Mais avant d'entreprendre le compte rendu de mes observations, je dois dire que j'ai été secondé dans cette partie de mon travail avec beaucoup de zèle et d'intelligence par M. Richard, préparateur à l'École des mines. Je suis heureux de lui en témoigner ici ma reconnaissance.

A. — Substances pseudo-cubiques.

Amphigène.

Les cristaux d'amphigène ont des formes si nettes et si constantes, ils présentent d'une manière si évidente les 24 faces du tropézoédre a^2, que malgré le peu d'éclat de ces faces et la difficulté d'obtenir des mesures angulaires précises, il n'est, pendant longtemps, venu à l'idée de personne de mettre en doute que le système cristallin de la substance ne soit celui du cube, bien que des anomalies inexplicables aient été depuis longtemps constatées.

M. vom Rath, le premier, en examinant certains cristaux

du Vésuve, observa sur leur surface, des stries analogues à celles des feldspaths du 6e système.

Cette observation le porta à penser que les cristaux striés étaient mâclés. La direction des stries montrait que le plan d'hémitropie était celui du dodécaèdre rhomboïdal. Or, un axe d'hémitropie perpendiculaire au plan du dodécaèdre rhomboïdal est un axe de symétrie binaire, et ne peut donner naissance aux angles rentrants nécessaires pour expliquer les stries observées. M. vom Rath conclut donc de cette observation que l'amphigène n'appartient pas au système cubique. Profitant ensuite de ce que les cristaux qu'il possédait, quoique très-petits, avaient des surfaces exceptionnellement réfléchissantes, il crut pouvoir conclure de ses mesures goniométriques que l'amphigène appartient au système quadratique, le rapport de l'axe binaire à l'axe quaternaire étant égal à 1,8988.

M. Des Cloizeaux, dans le dernier fascicule de son *Manuel de minéralogie*, en rapportant les observations de M. vom Rath, mentionne des observations inédites de M. Hessenberg, qui n'a pu constater sur des cristaux très-nets du Vésuve les différences d'incidence signalées par M. vom Rath. La question m'a paru présenter un grand intérêt au point de vue théorique et j'ai repris, dans l'espérance de la résoudre, une série d'observations goniométriques sur des cristaux d'amphigène.

Les cristaux dont j'ai pu disposer sont des cristaux isolés, du volume d'un pois, et que j'ai trouvés, sans indication d'origine, dans la collection de l'École des mines (*). Ils proviennent sans doute de Frascati. Leur forme est très-nette, mais leur surface inégale n'est que très-peu réflé-

(*) Ces cristaux, comme un grand nombre de ceux que j'ai employés à mes recherches, ont été rassemblés par Biot et laissés par lui à son collègue de Sénarmont. La collection précieuse de Sénarmont a été donnée généreusement à l'École des mines par M. Georges de Sénarmont, après la mort de l'illustre savant.

chissante. Je suis parvenu cependant à obtenir des mesures assez précises en observant l'image d'une fente lumineuse réfléchie sous une incidence presque rasante. Certaines faces, évidemment multiples, donnent un grand nombre d'images, presque égales, mais la plupart donnent une image beaucoup plus nette et plus intense que toutes les autres que l'on peut choisir pour la mesure.

Les tableaux suivants comprennent tous les résultats obtenus.

TABLEAU I. — Angles des normales aux plans adjacents des pyramides A,

Nota.—Voir la projection stéréographique des pôles (Pl. I, *fig.* 1), et les perspectives (*fig.* 2 — Les numéros d'ordre des faces 1, 2, 3, etc., des tableaux correspondent aux numéros qués sur la projection stéréographique; les numéros accentués 1', 2', etc., désignent les respectivement opposées par le centre aux faces 1, 2, etc. Chaque nombre des tableau

	PYRAMIDES A. — FACES SE COUPANT					
	sur le grand cercle AC.			sur le grand cercle A		
	Côté $\overset{+}{C}$ (6,10)	Côté $\bar{C}$ (3,7)	Moyenne.	Côté $\bar{B}$ (6,7')	Côté B (10,3')	Moye
Cristal I. Limpides, possédant toutes ses faces, sans mâcles apparentes.	48° 36'	47° 57' ?	48° 16'	49° 30'	49° 25'	[illegible]
Cristal II. Assez limpides. — Stries nombreuses à la surface. — Mâcle apparente à un angle de cristal. — Voir *fig.* 2.	48 33	Manque.	48 33	49 31	49 26'	[illegible]
Cristal III. Le cristal est traversé par une mâcle très-apparente et très-nette. — Voir *fig.* 3. — Une partie des faces manque.	48 3	48 22	48 12	49 23	49 22	49 2[illegible]
Cristal IV. Très-limpide. — Une très-grande partie du cristal manque.	48 ?		48 ?	»	»	»
Moyennes générales.	. . . . . .	. . . . .	48° 20'.3	. . . . .	. . . . .	[illegible]

TABLEAU II.— Angles des normales aux plans opposés des pyram

	PYRAMIDES A. — (6,3') et (10,7') moyenne.
Cristal I.	71° 37' ½
Cristal II.	71 39
Cristal III.	71 31
Cristal IV.	»
Moyennes générales.	71° 35'

dont les sommets sont respectivement placés sur les axes pseudo-quadratiques *a*, *b*, *c*.

---

toutes les fois que l'état du cristal l'a permis, la moyenne des deux angles formés par les plans respectivement opposés par le centre. — Les notations cristallographiques de la projection stéréographique sont celles de Miller ; le premier chiffre correspond à l'axe *a*, le deuxième à l'axe *b*, le troisième à l'axe *c*.

PYRAMIDE B. — FACES SE COUPANT						PYRAMIDE C. — FACES SE COUPANT					
sur le grand cercle BA			sur le grand cercle BC.			sur le grand cercle CA.			sur le grand cercle CB.		
+ Côté A (2,11')	− Côté A (1,12')	Moyenne.	+ Côté C (1,2)	− Côté C (11,12)	Moyenne.	+ Côté A (5,9)	− Côte A (4,8)	Moyenne.	− Côté B (5,4)	+ Côté B (8,9)	Moyenne.
49° 12'	48° 58'	49° 7'	47° 38'	47° 26'	47° 32'	47° 30'	47° 41'	47° 35' 1/2	47° 5'	46° 53'	46° 59
49 4	49 26	49 15	47 40	48 13	47 56	47 9	»	47 9	46 49	»	46 49
49 23	49 7	49 16	48 2	47 49	47 56	47 30	»	47 30	47 6	»	47 6
»	»	»	»	»	»	47 32	»	47 32	47 6	»	47 6
.....	.....	49° 12',7	.....	.....	47° 48',3	.....	.....	47° 26',5	.....	.....	47° 6'

A, B, C, ayant leurs sommets sur les axes pseudo-quaternaires *a*, *b*, *c*.

PYRAMIDES B. — (12,2') et (1,11') moyenne.	PYRAMIDES C. — (4,9) et (5,8) moyenne.
71° 0' 71 10 71 8 »	69° 12' 1/2 69 2 69 3 69 3
71° 6'	69° 5'

TABLEAU III. — Angles des normales aux plans opposés

Nota. — Tous les angles des pyramides ayant leurs sommets sur un même grand c

	PYRAMIDES AYANT LEURS SOMMETS SUR LE GRAND CERCLE BC						
	(1,5)	(8,12)	Moyennes.	(2,4)	(9,11)	Moyennes.	Moyennes
Cristal I.	59° 11′	59° 31′	56° 36′	59° 16′	59° 26′	59° 21′	59°
Cristal II.	59° 31′	59° 8′	59° 20′	59° 18′	59° 37′	59° 28′	59°
Moyennes générales.	59° 26′						

On peut voir, en jetant les yeux sur ces tableaux, que les résultats des observations sont assez concordants, malgré la difficulté provenant de l'état de la surface des cristaux.

On peut d'ailleurs obtenir en quelque sorte une mesure de l'exactitude des observations.

La symétrie des cristaux d'amphigène est, dans tous les cas, très-voisine de celle du cube ; on peut donc les rapporter à trois axes a, b, c, presque égaux entre eux, et presque rectangulaires.

Les incidences des faces (et j'avertis ici que dans tout ce qui suivra, j'entends par incidences des faces, les angles faits par les normales à ces faces, menées du centre du cristal) doivent différer également fort peu de ce qu'elles seraient si les trois axes a, b, c étaient rigoureusement égaux et rectangulaires, c'est-à-dire de ce qu'elles seraient dans le trapézoèdre a^2.

Soient A, B, C, les angles des faces opposées des pyramides aboutissant aux axes pseudo-quaternaires; dans le trapézoèdre, ces angles seraient égaux entre eux et auraient la valeur 70° 32′. Appelons dA, dB, dC les excès algébriques des angles observés sur celui qui conviendrait au tra-

pyramides ayant leurs sommets sur les axes pseudo-binaires.

passant par deux axes pseudo-quaternaires, doivent être égaux si ces axes sont binaires.

PYRAMYDES AYANT LEURS SOMMETS SUR LE GRAND CERCLE AC							PYRAMIDES AYANT LEURS SOMMETS SUR LE GRAND CERCLE AB						
(4,7)	(6,9)	Moyennes.	(3,8)	(5,10)	Moyennes.	Moyennes générales.	(6,11′)	(2,7′)	Moyennes.	(12,3′)	(10,1′)	Moyennes.	Moyennes générales.
59° 34′	59° 49′	59° 41′	»	59° 49′	59° 49′	59° 41′	60° 59′	61° 13′	61° 6′	»	60° 20′	60° 20′	60° 43′
59° 46′	59° 36′	59° 41′	60° 5′	59° 33′	59° 49′	59° 45′	60° 41′	60° 51′	60° 46′	»	60° 40′	60° 50′	60° 43′
59° 43′							60° 43′						

pézoèdre, il est aisé de voir que la somme algébrique de ces excès doit être nulle. Il en sera de même pour les angles des plans adjacents des mêmes pyramides ; la somme des excès des nombres observés sur l'angle 48° 11′,5 qui conviendrait au cube doit être nulle.

Or, en effectuant le calcul, on trouve ;

		Excès sur 70°,32′.	Somme algébrique
Angles des faces opposées des pyramides ABC (moyenne des observations).	Pyr. A — 71° 35′	+ 63′	+ 10′
	B — 71° 6′	+ 34′	
	C — 69° 5′	— 87′	

			Excès sur 48°,11′,5.	Somme des excès.
Angles des faces adjacentes des pyramides A B C, moyenne des observations.	Pyr. A	A_e — 48° 20′,3	+ 8′,8	+ 1′,5
		A_b — 49° 22′,7	+ 71′,2	
	Pyr. B	B_a — 49° 12′,7	+ 61′,2	
		B_c — 47° 48′,3	— 23′,2	
	Pyr. C	C_a — 47° 26′,5	— 45′,0	
		C_b — 47° 0′	— 71′,5	

	Pyramides ayant leurs sommets	Excès sur 60° (Incidence du trapézoèdre).	
Angles des faces opposées des pyramides ayant leurs sommets sur les axes pseudo-binaires.	1° entre B et C — 59° 28′	— 32′	— 6′
	2° entre A et C — 59° 43′	— 17′	
	3° entre A et B — 60° 43′	+ 43′	

On voit donc que les sommes des excès sont, comme il le

faut, très-près d'être nulles, et que la moyenne des erreurs ne dépasse pas 10′, chiffre bien inférieur à ceux qui représentent les excès individuels.

Ces derniers excès ne représentent donc pas de simples inexactitudes dans les observations ; ils accusent une véritable dissymétrie dans les cristaux qui ne peuvent être considérés comme cubiques.

Ils ne peuvent être considérés non plus comme quadratiques, car cette symétrie exigerait : 1° que les angles des faces opposées des pyramides A et B fussent les mêmes, et ils diffèrent de 29′ ;

2° Que les angles C_a et C_b des faces adjacentes des pyramides C fussent égaux, et ils diffèrent de 26′,5 ;

2° Que les pyramides A et B fussent identiques, c'est-à-dire que l'on eût : 1° $A_c = B_c$, et la différence est de 32′,0 ; 2° $A_b = B_a$, et la différence est de 10′.

Il ne reste plus qu'à voir si les observations s'opposent à ce que la symétrie soit considérée comme orthorhombique.

S'il n'en était pas ainsi, si les axes cristallographiques *a*, *b*, *c* faisaient des angles sensibles, on s'en apercevrait surtout à ce signe que les angles que font les faces opposés des pyramides, ayant leurs sommets sur les axes pseudo-binaires du trapézoèdre, ne seraient plus égaux pour une même pyramide. Les angles 1 — 5 et 2 — 4, par exemple ne seraient plus les mêmes. Or les différences observées sont d'un ordre de grandeur qui ne permet pas de les distinguer des erreurs d'observation. On doit donc conclure que si les trois axes *a*, *b*, *c* ne sont pas rigoureusement rectangulaires, les angles qu'ils forment se rapprochent assez de 90° pour que la différence ne puisse être constatée par les mesures.

Admettons donc la symétrie orthorhombique, et calculons la grandeur des axes *a*, *b*, *c*. On simplifiera les cal-

culs en tirant partie de ce que ces axes sont très-voisins de l'égalité. On pose :

$$\frac{1}{a} = a', \quad \frac{1}{b} = b', \quad \frac{1}{c} = c' = 1,$$

et l'on prend pour inconnues les quantités très-petites da', db' telles que $1 + da' = a'$, $1 + db' = b'$.

On considère d'abord les angles A, B, C des faces opposées des pyramides A, B, C.

On a les formules :

$$\cos A = \frac{4a'^2 - b'^2 - 1}{4a'^2 + b'^2 + 1},$$

$$\cos B = \frac{-a'^2 + 4b'^2 - 1}{a'^2 + 4b'^2 + 1},$$

$$\cos C = \frac{-a'^2 - b'^2 + 4}{a'^2 + b'^2 + 4}.$$

Le développement de Taylor, limité aux termes du premier degré, nous donnera, en appelant dA, dB, dC les excès des angles observés sur l'angle $\alpha = 70° 32'$ du trapézoèdre dérivé des cubes :

$$(1) \qquad \frac{3}{\sqrt{2}}\, dA = db' - 2da',$$

$$(2) \qquad \frac{3}{\sqrt{2}}\, dB = da' - 2db',$$

$$(3) \qquad \frac{3}{\sqrt{2}}\, dC = da' + db'.$$

Si, dans ces trois équations, on remplace dA, dB, dC par les excès observés, on en conclura da' db'.

On obtient les résultats suivants :

1° En combinant les équations	(1) et (2)	$a' = 0,9671$	$b' = 0,9730$
	(2) et (3)	0,9683	0,9755
	(1) et (3)	0,9696	0,9743
Moyenne.		$a' = 0,9683$	$b' = 0,9743$

On peut appliquer le même mode de calcul aux obser-

vations qui donnent les angles des faces adjacentes des pyramides A, B, C. On trouvera ainsi les équations

$$(4)\quad \begin{cases} 3\sqrt{5}\, dA_a = 5db - 4da \\ 3\sqrt{5}\, dA_b = db + 4da \end{cases}$$

$$(5)\quad \begin{cases} 3\sqrt{5}\, dB_a = da + 4db \\ 3\sqrt{5}\, dB_c = -5da + 4db \end{cases}$$

$$(6)\quad \begin{cases} 3\sqrt{5}\, dC_a = da - 5db \\ 3\sqrt{5}\, dC_b = -5da + db \end{cases}$$

Les deux équations	(4) donnent	$a' = 0{,}9704$	$b' = 0{,}9797$
	(5) —	$0{,}9719$	$b' = 0{,}9772$
	(6) —	$0{,}9673$	$0{,}9759$
Moyennes.		$a' = 0{,}9699$	$b' = 0{,}9779$

En combinant enfin les moyennes, on trouve :

$$a' = 0{,}9691 \qquad b' = 0{,}9761 \qquad c' = 1$$
$$a = 1{,}0319 \qquad b = 1{,}0245 \qquad c = 1$$

Si l'on calcule maintenant, avec ces nombres, les angles qui s'en déduisent, on forme, en les comparant aux angles observés, le tableau suivant :

		Moyennes des observations.	Incidences calculées.
Angles des faces opposées des pyramydes A, B, C.	A	71° 35',0	71° 32',9
	B	71 6 ,0	71 1 ,0
	C	69 3 ,0	69 2 ,3
Angles des faces opposées adjacentes des pyramides.	A_b	49° 22',7	49° 27',1
	A_c	48 20 ,3	48 13 ,5
	B_a	49 12 ,7	49 16 ,3
	B_c	47 48 ,3	47 44 ,4
	C_a	47 26 ,4	47 26 ,1
	C_b	47	47 7 ,6
Angles des faces opposées des pyramides ayant leurs sommets sur les axes pseudo-binaires.	Pyr. *ab*	60° 43',0	60° 54',4
	Pyr. *bc*	59 28 ,0	59 22 ,4
	Pyr. *ac*	59 43 ,0	59 43 ,2

Si l'on a égard à l'incertitude inévitable des mesures, on jugera que la concordance entre l'observation et le calcul est des plus satisfaisantes.

La nature de la symétrie de l'amphigène, rendue si évidente par les observations et les calculs précédents, est encore assurée par l'observation des hémitropies que présentent les cristaux. M. vom Rath avait constaté, sur la plupart des faces de l'amphigène, des stries nombreuses, rapprochées, dont la direction, en rapport avec les axes cristallins, est, en général, parallèle à l'intersection du plan du cristal, par un plan parallèle au pseudo-dodécaèdre rhomboïdal. M. vom Rath assimile ces stries à celles qui se rencontrent sur certaines faces des feldspaths anorthiques. Il y voit, comme dans ces substances, la marque de la dissymétrie de la cristallisation dévoilée par l'hémitropie. Il est clair, en effet, que si l'on suppose les cristaux d'amphigène hémitropes autour d'une ligne perpendiculaire au plan du pseudo-dodécaèdre rhomboïdal, cette ligne étant un axe binaire du cube, l'hémitropie ne se dévoilera, dans un cristal cubique, par aucun caractère extérieur, puisque, après le demi-tour d'une moitié du cristal, cette moitié sera revenue en coïncidence avec elle-même. Il en sera autrement si le cristal n'est pas cubique : l'axe d'hémitropie ne sera plus alors un axe de symétrie, et l'hémitropie se manifestera extérieurement par des angles rentrants, ou par de fines stries lorsque plusieurs lamelles hémitropes seront groupées ensemble, ainsi que cela a lieu dans les feldspaths anorthiques.

Non-seulement j'ai pu retrouver sur mes cristaux les stries indiquées par M. vom Rath, mais encore j'ai rencontré parmi ceux-ci de véritables cristaux hémitropes montrant, sur certaines faces, les angles rentrants de la macle de la manière la plus apparente, et j'ai pu, sans trop de peine, prendre des mesures passables de l'angle des deux faces qui forment l'angle rentrant.

La plus nette de ces macles est celle qui est présentée par le cristal III. Le plan d'hémitropie passe par l'axe que j'ai désigné par *a* (Pl. I, *fig.* 3). Les mesures des angles des deux portions de faces atteintes par le plan d'hémitropie sont les suivantes :

Cristal III.	5′—2(*) 2°29′ 11—4′ 2 38 4′—1 2 20	moyenne 2° 29′	Plan d'hémitropie passant par *a*, et parallèle au plan du pseudo-dodécaèdre rhomboïde.

Or, si l'on calcule l'angle formé par une hémitropie suivant un plan du pseudo-dodécaèdre rhomboïdal passant par *a*, on trouve pour l'angle des faces 2° 10′. L'accord est donc encore satisfaisant.

Propriétés optiques. — M. Des Cloizeaux, dans le tome II de son *Manuel de minéralogie*, résume de la manière suivante les propriétés optiques de l'amphigène :

« Si l'on taille un cristal d'amphigène suivant les faces d'un cube perpendiculaire aux axes pseudo-quaternaires du trapézoèdre, et soumettant ces cubes à la lumière polarisée, on voit dans la lumière convergente, à travers un des couples des faces parallèles, des espèces de croix vagues et imparfaites qui se disloquent et changent d'aspect à chaque déplacement du cristal. » J'ai constaté que ces apparences se présentaient à travers les faces perpendiculaires à l'axe que j'ai nommé *c*. « A travers les deux autres couples de faces, on voit deux systèmes d'hyperboles croisées à angles droits. L'extinction est d'ailleurs très-nette lorsque l'axe perpendiculaire au premier couple de faces (c'est-à-dire l'axe *c*) est parallèle ou perpendiculaire au plan de polarisation. »

M. Des Cloizeaux ajoute que l'un de ces cristaux taillés offre, dans l'huile, en une seule plage étroite, à la place des hyperboles, deux systèmes d'anneaux brouillés. Ces

(*) Je désigne par 5′ la face opposée par le centre à la face 5.

anneaux, accompagnés de lemniscates assez bien formées, sont attribués par l'auteur à l'interposition, dans le cristal, d'une lame biaxe. Cependant j'ai retrouvé dans un des cristaux que j'ai fait polir la même particularité, qui ne semble plus, par conséquent, pouvoir été considérée comme produite par une irrégularité accidentelle.

Les phénomènes observés dans la lumière parallèle sont plus nets et plus significatifs. Sur les faces perpendiculaires aux axes *a* et *b* des cristaux I et IV (les seuls que j'aie fait polir), on voit très-nettement que les sections principales sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe *c*. Les petits cristaux assemblés qui composent l'édifice cristallin de l'amphigène ont donc tous leurs axes pseudo-quaternaires *c* parallèles entre eux. Cet axe *c* est d'ailleurs un axe d'élasticité optique, et il est très-vraisemblable que c'est un axe de symétrie binaire du réseau.

Si l'on observe une face perpendiculaire à l'axe *c*, on voit se dessiner sur la plaque une sorte de réseau formé par des lignes très-nettes, alternativement claires et foncées, qui se coupent à angle droit et sont inclinées de 45° sur les axes *a* et *b* (Pl. I, *fig.* 4). Si la plaque est très-mince, on voit se dessiner (Pl. I, *fig.* 5), non plus un réseau formé de lignes ou de bandes très-étroites, mais d'assez larges plages dont les contours géométriques sont formés encore par des lignes rectangulaires entre elles et inclinées de 45° sur les axes *a* et *b*. Ces plages s'éclairent et s'éteignent assez régulièrement dans la lumière polarisée entre les deux Nicols croisés; mais l'extinction ne se fait pas en même temps dans toutes les plages.

Si l'on observe la plage *m*, par exemple, on voit que la section principale *ss'* fait un angle de 19° avec l'un des axes *a* ou *b*. Dans la plage *q*, la section principale *s*, *s'* fait un angle de 38° avec celle de la plage *m*.

Il résulte de cette observation que le réseau de l'amphigène n'est pas même orthorhombique, et que la symétrie

qu'il possède ne dépasse pas celle des substances clinorhombiques. De plus, on voit que les deux plages *m* et *q* (qui se partagent entre elles toute la surface de la plaque) sont, l'une par rapport à l'autre, dans la position de deux portions de réseau séparées par un plan d'hémitropie HH (Pl. I, *fig.* 5) passant par l'axe *c* et par la bissectrice des axes *a* et *b*. Il y a donc à la fois, dans l'amphigène, *assemblage* dans le sens où je l'ai défini et macle. En d'autres termes, c'est par des hémitropies que le réseau parvient à constituer l'édifice cristallin dont la raison d'être est la quasi-égalité des axes *a* et *b*. Ce sont ces macles, indéfiniment répétées dans un même cristal, qui font naître à la surface les stries observées par M. vom Rath. Ces stries sont nécessairement très-fines, car il est aisé de calculer, avec les données cristallographiques établies ci-dessus, que les angles rentrants de la macle sont de 0°,44′ seulement.

Je me crois donc en droit de conclure de mes observations :

1° Que le réseau de l'amphigène est clinorhombique;

2° Qu'un individu cristallin est formé par la juxtaposition d'un grand nombre de petits cristaux assemblés suivant un plan d'hémitropie passant par l'axe binaire du réseau, et divisant en deux parties à peu près égales l'angle droit formé par les deux autres axes pseudo-quaternaires.

L'édifice cristallin de l'amphigène rentre donc dans la catégorie de ceux que j'ai étudiés dans la seconde partie de mon travail. Les angles des faces doivent présenter de légères variations d'un échantillon à l'autre, et c'est sans doute à cette cause que sont dues les différences que présentent les quatre cristaux étudiés goniométriquement. Mais je n'ai observé que des cristaux provenant d'une même localité, et les variations angulaires eussent sans doute été plus considérables si j'avais pu mesurer des cristaux du Vésuve comparativement avec ceux de Frascati. Je considère comme très-possible que les cristaux du Vésuve

s'approchent considérablement de la symétrie quadratique, et je ne regarde nullement mes observations comme en désaccord avec celles de M. vom Rath. Il faut d'ailleurs remarquer avec soin que les cristaux de Frascati que j'ai étudiés étant des assemblages, les nombres que j'ai donnés comme représentant les longueurs relatives des axes cristallographiques n'ont rien d'absolu et ne représentent point les données qui conviendraient au réseau même de la substance.

Je terminerai en faisant remarquer que mes observations, en assignant au réseau cristallin de l'amphigène la symétrie clinorhombique, viennent encore augmenter les analogies qui rapprochent cette substance des minéraux du groupe feldspathique.

Boracite.

On sait que cette substance se présente en petits cristaux généralement très-nets qui sont, le plus souvent, des cubotétraèdres, dont les arêtes sont tronquées par les faces du dodécaèdre b^1. On sait aussi depuis longtemps qu'elle offre des phénomènes optiques bien différents de ceux que ferait prévoir le système cristallin. Un savant allemand, Volger, a cru pouvoir expliquer (*) ces phénomènes par une étrange hypothèse. Il suppose que dans les cristaux monoréfringents de boracite sont disposées des lamelles d'une substance biréfringente, dont la composition chimique est très-voisine. Il a nommé *parasite* cette matière hypothétique, qui proviendrait, suivant lui, d'une décomposition partielle et successive du cristal. On verra, par ce qui suit, que cette singulière introduction du parasitisme dans le règne inorganique n'est pas justifiée par l'observation.

Lorsqu'on taille, dans un cristal de boracite, des lames

(*) *Ann. Pogg.*, XCII (1854), pages 77 et suiv.

dont l'épaisseur ne descend pas au-dessous de 1 millimètre et qu'on les observe dans la lumière polarisée parallèle entre les Nicols croisés, on constate qu'elles dépolarisent la lumière avec une très-grande énergie, et qu'elles ne s'éteignent dans aucune position. Toutefois la lumière émergente reste à peu près blanche, sauf dans certaines plages, où se montrent des lignes colorées très-pâles.

Mais à mesure que l'on amincit la lame, les phénomènes optiques se transforment; les lignes colorées se teintent de plus en plus, en même temps qu'elles décroissent en nombre, et elles finissent par se détacher sur un fond dont la couleur uniforme s'éteint régulièrement dans un azimut déterminé. Ce n'est donc qu'en amincissant convenablement les lames observées que les phénomènes optiques deviennent simples et nets. C'est parce qu'on a jusqu'ici négligé cette précaution nécessaire que la constitution des cristaux de boracite est demeurée inconnue.

Supposons d'abord la lame taillée parallèlement à une des faces du tétraèdre; on observe dans la lumière polarisée parallèle, les Nicols étant croisés, les phénomènes représentés Pl. I, *fig.* 6 et 7. Le triangle équilatéral formé par la plaque est partagé en trois secteurs par trois lignes très-nettes, qui ne sont autre chose que les droites menées du centre du triangle perpendiculairement sur les milieux des côtés. Chacun des secteurs est coloré d'une couleur spéciale; mais sur ce fond dominant se détachent des bandes possédant la couleur propre à l'un des deux autres secteurs. Ces bandes sont orientées suivant des directions en rapports simples avec les côtés du triangle; elles sont entourées d'une sorte d'auréole à contours parallèles, dont la couleur, blanche à un faible grossissement, se teinte, à un grossissement plus grand, de franges très-fines parallèles aux contours.

Les plages qui dominent dans un secteur s'éteignent rigoureusement suivant des droites parallèles ou perpendiculaires à la bissectrice correspondante du triangle, de

telle sorte que le secteur $OA_1p_1p_2$ s'éteint suivant la droite OA_1, le secteur OA_2 suivant la droite OA_2, etc. Les portions des autres secteurs qui ont la même couleur que le secteur OA_1 s'éteignent en même temps que celui-ci, et ainsi de suite. Il en résulte donc qu'en amenant successivement les droites OA_1, OA_2, OA_3 à être parallèles au plan primitif de polarisation, on éteint successivement toutes les parties de la plaque, sauf les auréoles blanches ou frangées qui entourent les bandes étrangères au secteur où elles se trouvent placées.

Les phénomènes sont les mêmes quelle que soit la face tétraédrique à laquelle la lame est parallèle; ils restent encore les mêmes lorsque la lame est taillée perpendiculairement à l'une des diagonales du cube, dans le voisinage de l'un des sommets modifié par les faces de l'hémiicositétraèdre $\frac{1}{2}a^2$.

On conclura des faits précédents qu'un cristal de boracite est formé, autour d'une diagonale du cube ou d'un axe ternaire, de trois cristaux différents qui se juxtaposent suivant des plans passant par l'axe ternaire et par l'une des trois diagonales des faces du cube aboutissant à l'angle considéré. Tous les angles du cube donnant des phénomènes identiques sont constitués de la même façon; un cristal de boracite est donc formé de vingt-quatre cristaux se groupant par trois autour des huit angles du cube. Mais les phénomènes ne changent pas lorsqu'on taille la plaque à une distance plus ou moins grande de l'angle du cube, pourvu qu'on ne descende pas plus loin que le triangle qui passe par les trois sommets A_2, A_4, A_8, les plus voisins du sommet considéré A_1. Il faut donc en conclure que l'un des cristaux qui se groupent au sommet A_1 se confond avec un de ceux qui se groupent autour de A_2. Le nombre des cristaux qui composent un individu de boracite se réduit ainsi à douze. Chacun de ces cristaux forme une

pyramide quadrangulaire qui, ayant son sommet au centre O du cristal, a ses quatre autres arêtes dirigées suivant deux axes ternaires tels que OA_1, OA_2, et deux axes quaternaires tels que OB_1, OB_2; cette pyramide a donc pour base un des rhombes du dodécaèdre rhomboïdal. La *fig.* 9 (Pl. I) montre l'arrangement des douze pyramides ainsi formées. Il ne s'agit plus que de vérifier, par des plaques coupées suivant d'autres directions, les conclusions précédentes et de déterminer les axes cristallographiques et les axes optiques de chacun des douze cristaux composants.

Dans le cristal de boracite, constitué comme il vient d'être dit, on découpe une plaque parallèle à la face $A_1B_1A_2B_2$ (Pl. I, *fig.* 9) du dodécaèdre rhomboïdal. On suppose que cette plaque est limitée par les deux plans parallèles *abcdef* *a'b'c'd'e'f'*, et il est aisé de voir qu'en faisant l'épure, on obtient la coupe représentée *fig.* 9 et 10 (Pl. I). Au centre se dessinent deux rhombes parallèles, l'un $\alpha\beta\delta\varepsilon$ est l'intersection, par le plan antérieur de la plaque, du cristal composant pyramidal ayant pour base le rhombe A_1A_2; l'autre $\alpha'\beta'\delta'\varepsilon'$ est l'intersection du même cristal par le plan postérieur de la plaque. Ces deux rhombes, semblables au rhombe A_1A_2 du dodécaèdre, ont des angles de 109° 28'.

Ces rhombes sont entourés de 4 trapèzes tels que $a\alpha b\beta$, qui représentent les intersections des 4 cristaux pyramidaux adjacents au cristal central suivant une face triangulaire, et de deux triangles tels que $b\beta c$, qui représentent l'intersection de 2 cristaux latéraux ayant une arête commune avec le cristal central.

Dans l'espace compris entre les lignes parallèles δf, $\delta' f'$; δb, $\delta' b'$, etc., deux cristaux se superposent en biseau dans l'épaisseur de la lame, et l'on doit avoir dans cet espace des franges colorées.

La *fig.* 11, Pl. I, dessinée à la chambre claire, montre avec quelle exactitude se vérifie la coupe théorique que l'on vient

de construire. On y a employé les mêmes lettres que dans la *fig.* 10, pour faciliter la comparaison.

On observe en outre que le rhombe central $\alpha'\beta'\delta'\varepsilon'$ s'éteint exactement suivant les 2 diagonales. Dans la lumière convergente, on voit se dessiner dans la même plage des lemniscates à pôles très-écartés et dont la ligne des axes est dirigée suivant la grande diagonale. On en conclut que chaque cristal composant appartient à un prisme rhomboïdal droit ayant pour base la face du dodécaèdre, dont la bissectrice aigüe est parallèle à la hauteur, et le plan des axes parallèle à h^1.

M. Des Cloizeaux a mesuré, avec son exactitude habituelle, l'angle des axes de la boracite (qu'il attribuait à une substance étrangère incluse); il l'a trouvé de 83° 35′. On peut se servir de cet angle, qui est l'angle vrai, pour déterminer les directions suivant lesquelles doivent s'éteindre les plages trapézoïdales qui, dans la plaque considérée, entourent le rhombe central. Comme il n'y a pas besoin d'une grande rigueur, on peut supposer que l'angle des axes est de 90°, et il est très-aisé de voir alors que les 4 secteurs trapézoïdaux doivent s'éteindre suivant une même direction, faisant un angle de 45° avec la grande diagonale du rhombe central. C'est en effet ce que l'observation vérifie.

Quant aux triangles tels que $\beta b c'$, ils représentent la coupe de deux cristaux composants par des plans parallèles à g^1. Ils doivent donc s'éteindre et ils s'éteignent en effet suivant des directions parallèles aux deux diagonales du rhombe central. D'ailleurs les plans g^1 sont perpendiculaires à la bissectrice obtuse (à peine obtuse ici puisque l'angle des axes est voisin de 90°); on doit donc voir, et l'on voit en effet dans ces plages triangulaires des lemniscates dont les axes seront parallèles à la grande diagonale du rhombe central.

Si l'on taille une lame parallèle à une face cubique,

dans le voisinage de la surface du cristal, il est très-aisé de voir que la coupe théorique sera représentée Pl. II, *fig.* 12. La lame coupe 8 des cristaux composants. Ceux qui correspondent aux 4 plages centrales *a*, *b*, *c*, *d* ont leurs bases parallèles aux faces dodécaédriques parallèles aux côtés du carré de la *fig.* 13. Les plans des axes optiques sont perpendiculaires à celui de la lame, et comme leur angle est voisin de 90°, chacune des plages *a*, *b*, *c*, *d* se trouve presque perpendiculaire à l'un des axes optiques du cristal correspondant. On s'aperçoit très-vite qu'il en est effectivement ainsi en observant (avec des lames qui ne soient pas trop minces) dans la lumière convergente des anneaux presque exactement centrés traversés par une barre noire. On s'en aperçoit encore en constatant que, dans la lumière parallèle, les plages *a*, *b*, *c*, *d* s'éclairent à peine en faisant varier l'azimut de la plaque, c'est-à-dire se comportent à peu près comme une matière monoréfringente.

Comme d'ailleurs les plages *e*, *f*, *g*, *h* ne se comportent pas de la même façon, et que des lames appartenant à ces plages sont toujours disséminées au milieu des autres, on voit, dans les plaques parallèles aux faces du cube, des plages qui paraissent monoréfringentes en même temps que d'autres plages biréfringentes. C'est sans doute cette observation mal interprétée qui a donné lieu à la singulière théorie de Volger. En réalité, il n'y a, dans un cristal de boracite, aucune partie, si petite qu'elle soit, qui possède véritablement des propriétés monoréfringentes.

La vérification de l'hypothèse paraîtra sans doute très-suffisante; je laisserai donc de côté un certain nombre de mes observations et je terminerai par la description des phénomènes présentés par une plaque parallèle à une face a^1, c'est-à-dire tangente à une arête du dodécaèdre. Les *fig.* 13 et 14, Pl. I, montrent la coupe théorique. La *fig.* 15, Pl. I, dessinée à la chambre claire, montre que la théorie se vérifie avec la plus grande netteté. La plage *m* s'éteint, comme

cela doit être, suivant *bc*. Les plages *n* et *z* doivent s'éteindre en même temps et à peu près suivant une droite *uv*, inclinée de 25° environ sur la droite $\alpha\beta$; l'expérience confirme encore cette déduction.

Il ne saurait donc rester aucun doute. Un individu cristallin de boracite est un assemblage composé de 12 cristaux ayant la forme de pyramides dont le sommet est au centre du cristal et dont la base est une face du dodécaèdre rhomboïdal. Ces 12 cristaux se réduisent véritablement à 6, puisque les 2 pyramides ayant respectivement pour bases les faces parallèles du rhombe peuvent être supposées appartenir au même cristal. Chacun de ces 6 cristaux est orthorhombique; l'un des axes binaire coïncide avec un axe binaire du cube; les deux autres sont parallèles, l'un à un autre axe binaire, le second à un axe quaternaire du cube.

L'axe binaire qui coïncide avec la hauteur de la pyramide représente la bissectrice aiguë des axes optiques qui s'ouvrent de 90° environ dans un plan passant par la grande diagonale du rhombe de la base.

Quant à la longueur des axes de la forme primitive, elle est naturellement très-voisine de celle qui conviendrait à un réseau cubique; les rapports des axes du prisme orthorhombique sont donc à très-peu près les suivants :

$$a : b : h = 1 : \frac{\sqrt{2}}{2} : 1.$$

Dans le système de notation adopté pour le prisme orthorhombique, les faces du cube seraient notées e^1, celles de l'octaèdre a^1, celles qui limitent les pyramides intérieures $b^{1/2}$, celles de l'hémiicositétraèdre (notées ordinairement a^2) b^1.

Les faces du pseudo-octaèdre a^1 et celles du pseudo-icositétraèdre b^1 sont hémiédriques; par suite de la dissymétrie de la molécule, le réseau de boracite possède donc l'un des deux genres d'hémiédrie propres au système ter-

binaire, celui dans lequel persiste un seul axe binaire (dans le cas actuel, celui qui est parallèle à la petite diagonale du rhombe), ainsi que les deux plans de symétrie passant par les deux diagonales de la base, le centre étant supprimé. C'est l'hémiédrie superposable que l'on rencontre dans la calamine; on sait que dans l'une et l'autre substance, elle est accompagnée de la propriété pyroélectrique.

Pour fixer définitivement la nature du réseau cristallin de la boracite, il ne restait plus qu'à s'assurer de la valeur des angles que forment les faces de l'assemblage pseudo-cubique. Malgré le soin que j'ai pris dans la mesure des angles et les nombreux échantillons sur lesquels ont porté mes recherches, je n'ai pu constater des différences bien nettes avec ceux que l'on déduisait rigoureusement de l'hypothèse que les cristaux sont exactement cubiques. Il faut donc admettre que le vrai réseau de la boracite, tout en ne possédant pas rigoureusement la symétrie cubique, s'en écarte tellement peu que la différence n'est pas sensible aux observations goniométriques.

Grenat.

Tout le monde connaît le mode de cristallisation du grenat, si constant malgré les variations considérables de la composition. Cette substance, en dépit de la symétrie cubique manifeste qui la distingue extérieurement, présente des phénomènes optiques intéressants qui, jusqu'à ce jour, n'ont pas beaucoup attiré l'attention.

Parmi les cristaux de grenat, il n'y en a qu'un petit nombre qui se prêtent bien aux recherches optiques; les diverses variétés étant d'ailleurs fort loin de présenter les mêmes phénomènes, il est nécessaire de les étudier séparément. Je commencerai par l'examen d'une des variétés les plus instructives, celle qu'on nomme *topazolite*. Ce sont des cristaux jaunes, très-brillants et très-nets, mal-



heureusement très-petits, tapissant les fentes d'un schiste talqueux de Mussa. Ces cristaux dodécaédriques portent ordinairement sur leurs rhombes une petite pyramide à quatre faces, très-surbaissée, dont le sommet est situé d'une manière plus ou moins précise sur la normale, passant par le centre de la face.

Si l'on taille, dans un cristal de topazolite, une lame mince parallèle à une face b^1, et si on la place entre deux Nicols croisés, on voit des apparences un peu variables, mais dont les *fig.* 16 et 17, Pl. I, dessinées avec soin à la chambre claire, sous le microscope, peuvent donner une idée. On voit sur ces figures un rhombe central, géométriquement semblable à celui de la face cristalline à laquelle la lame est parallèle, entouré d'une bordure plus ou moins complexe. Cette bordure est d'autant plus large et le rhombe central d'autant plus petit que la lame est taillée plus loin de la surface du cristal, ce qui montre que chaque rhombe du dodécaèdre est, comme dans la boracite, la base d'une pyramide cristalline. Mais cette pyramide n'est plus formée, comme dans la boracite, d'un cristal unique. Les phénomènes optiques sont les mêmes que si cette pyramide était formée par quatre autres pyramides cristallines ayant pour bases respectives les quatre secteurs triangulaires déterminés dans la base de la pyramide par les deux diagonales du rhombe. L'axe commun de ces quatre pyramides triangulaires s'est, pendant l'agrandissement du cristal, déplacé, tout en restant parallèle à lui-même, c'est-à-dire normal au rhombe de la base. Il en résulte que la lame paraît, à la lumière polarisée, traversée par des bandes que limitent des parallèles aux diagonales. Ces bandes ne s'éteignent pas sous le même azimut, ce qui rend assez difficile la recherche des sections principales vraies des quatre cristaux composants élémentaires. Mais il y a un fait constant, c'est que deux secteurs opposés par le sommet s'éteignent en même temps.

Dans les secteurs où l'extinction est la plus complète, et qui semblent par conséquent les plus homogènes, la direction de l'extinction ne paraît pas s'écarter beaucoup de celle d'une droite, qui, partant du sommet quaternaire du secteur et dirigée dans l'intérieur de ce secteur, fait avec le côté du rhombe un angle d'environ 8°.

J'ai dit que les rhombes de la topazolite portent de petites pyramides extrêmement surbaissées, dont les arêtes dessinent sur la surface deux lignes perpendiculaires dirigées suivant les diagonales. Cet accident de la surface est, comme on le voit, en relation intime avec la structure intérieure que dévoilent les observations optiques; aussi les lignes de la surface correspondent-elles, par leur position, aux lignes de séparation intérieures. Cette observation est fort instructive, car elle donne la clef des accidents qui se présentent si souvent sur les surfaces cristallines et transforment un plan en pyramides ou en biseaux très-surbaissés. Les plans de ces petites pyramides ou de ces biseaux sont souvent d'une netteté parfaite (c'est fréquemment le cas pour la topazolite), et cependant leur symbole serait tellement complexe, si l'on voulait les considérer comme de véritables facettes modifiantes, qu'il semble impossible de ne pas repousser cette idée. M. Scacchi s'est occupé, dans un travail bien connu, de ces accidents bizarres, et il a cherché à les expliquer en admettant une certaine indécision et comme des oscillations dans la cristallisation; cette idée reste un peu vague, et le travail de M. Scacchi a eu surtout le mérite d'appeler l'attention sur ces phénomènes et de les coordonner sous le nom de *polyédrie*. Je crois que dans la plupart des cas, sinon dans tous, on sera amené à conclure que les petites faces attribuées à la *polyédrie* sont, comme dans la topazolite, de véritables faces cristallines, qui se produisent sur des cristaux composants doués d'une symétrie moins élevée que la symétrie apparente du cristal composé.

L'existence de ces plans dans la topazolite montre que dans les cristaux qui composent une pyramide ayant un rhombe dodécaédrique pour base, l'axe commun n'est qu'à peu près un axe binaire.

Puisqu'il y a quatre cristaux composants, correspondant à chaque face de dodécaèdre rhomboïdal, on en conclut qu'il y a en tout quarante-huit cristaux composants. Ils correspondent respectivement aux faces de l'hexoctaèdre formé par les faces des petites pyramides surbaissées que porte chaque rhombe. La *fig.* 18, Pl. II, montre cette constitution complexe des cristaux de topazolite.

Si dans un cristal de topazolite on taille une lame perpendiculaire à un axe quaternaire, à distance à peu près égale entre le sommet et le centre, on observe, entre deux Nicols croisés, les phénomènes figurés assez grossièrement Pl. II, *fig.* 19. Les lignes $o'a$, ob, oc, $o'd$ de la figure séparent les cristaux correspondant aux diverses faces du dodécaèdre. Elles sont extrêmement nettes. Elles découpent le carré de la lame en quatre secteurs triangulaires, dont chacun d'eux est divisé à son tour en deux secteurs par une ligne perpendiculaire au côté du carré. Ces dernières lignes sont loin d'être nettes, et les choses se passent comme si les cristaux qu'elles doivent séparer se mélangeaient et se fondaient en quelque sorte l'un dans l'autre. Ces phénomènes sont bien ceux que l'on devait s'attendre à rencontrer, et le mélange que l'on vient d'observer correspond à celui que l'on constate entre les cristaux qui s'appuient sur un même rhombe. Les secteurs qui s'éteignent le plus nettement et qui semblent les plus purs de tout mélange s'éteignent suivant une droite qui, partant du sommet et dirigée en dehors du secteur, fait avec la diagonale un angle de 22° 30'. Il résulte de la valeur de cet angle que sur les huit secteurs qui se groupent autour du centre, les quatre de rang impair s'éteignent en même temps, suivent une direction faisant un angle de 22° 30' avec une des

diagonales du côté droit par exemple; les quatre secteurs de rang pair s'éteignent suivant une droite inclinée de 45° sur la précédente.

Les cristaux de topazolite sont tellement petits qu'il m'a été impossible de soumettre utilement à la lumière convergente chacun des nombreux secteurs dont une lame parallèle à la face du cube est composée. J'ai pu faire cette observation dans les cristaux de grenat aplome de Saxe, dont je vais parler dans un instant. On constate alors qu'il se présente dans chacun de ces secteurs des anneaux traversés par une barre noire, dont le centre n'est pas très-éloigné de l'axe du microscope. Ainsi l'axe quaternaire du cube est, pour les cristaux groupés tout autour, à peu près un axe optique.

De cette observation, combinée avec la direction de la barre noire des anneaux et la direction d'extinction des secteurs des faces rhombes, on pourrait déduire la position de l'autre axe optique, et par conséquent celle des trois axes d'élasticité. Mais les observations qui serviraient à ces calculs comportent si peu de précision que le résultat obtenu serait illusoire. Je me contenterai de remarquer que les axes d'élasticité optique, se trouvant nécessairement dans des plans inclinés de 22° 1/2 sur les plans menés par l'axe quaternaire et les côtés des rhombes, ne peuvent coïncider avec aucun axe cristallographique. Le réseau cristallin de la topazolite est donc *anorthique*, quoique sa symétrie soit très-voisine de celle d'un réseau cubique.

Haüy a désigné sous le nom de grenat *aplome* des cristaux dont les faces rhombes présentent des stries parallèles aux petites diagonales. J'ai étudié des cristaux provenant de la Saxe; ils sont de couleur brun jaunâtre. Quelques-uns d'entre eux sont entourés d'une enveloppe de même nature, quoique de couleur plus claire, qui se sépare assez facilement par le choc, et laisse voir un noyau cristallin dont la surface présente les mêmes accidents de cristallisation

que l'enveloppe. Ces accidents consistent en des stries ou plutôt des cannelures parallèles aux petites diagonales. Quand on examine ces stries à la loupe on voit d'ailleurs que, bien que les stries parallèles aux petites diagonales prédominent, il y en a d'autres parallèles aux grandes diagonales, et qu'en somme les cannelures sont formées par une série de petites pyramides analogues à celles de la topazolite, mais alignées en général parallèlement à la petite diagonale.

Bien que la structure de l'enveloppe présente des particularités remarquables, j'en ferai abstraction ici pour ne pas compliquer un sujet déjà passablement complexe.

La *fig.* 20, Pl. II, montre les phénomènes que présente une lame d'aplome parallèle à b^1, lorsque le plan de polarisation est dirigé suivant une diagonale.

La *fig.* 21, Pl. II, montre la même lame lorsque le plan de polarisation est dirigé à peu près suivant le côté *ab* du rhombe. On voit, d'après les phénomènes montrés par le rhombe central, que l'assemblage est ici de la même nature que celui de la topazolite, mais avec une tendance bien plus prononcée au mélange des cristaux qui s'appuient sur un même rhombe. Il en résulte que le rhombe central s'éteint en grande partie suivant une diagonale, c'est-à-dire suivant la bissectrice des directions d'extinction propres à chacun des cristaux composants. La *fig.* 20 rend d'ailleurs très-bien compte de la direction des stries de la surface.

Une lame d'aplome perpendiculaire à un axe quaternaire montre, comme on doit s'y attendre, les huit secteurs de la topazolite presque réduits à quatre, séparés par les diagonales et s'éteignant en même temps suivant un des côtés du carré. Dans les parties où le mélange est moins complet on observe, comme je l'ai déjà dit, des anneaux traversés par une barre noire.

Je laisse de côté un certain nombre de variétés qui donnent presque les mêmes phénomènes que l'aplome, comme,

par exemple, les grenats verts de Zermatt, et je me contenterai de dire que l'on peut toujours, par les accidents de la surface, juger du mode de mélange que l'observation optique permet de constater. Je passe maintenant à une variété très-remarquable, celle qui porte le nom d'*ouwarowite*. C'est, on le sait, un grenat où le sesquioxyde est celui de chrome. Les cristaux dodécaédriques, très-nets, sont d'une belle couleur verte, ils tapissent les fentes d'un fer chromé à Saranowskoja, près Bissork.

Une lame parallèle à b^1 donne la *fig.* 22, Pl. II, lorsque le plan de polarisation est parallèle à une diagonale. Le rhombe central et les deux petites sectious triangulaires adjacentes s'éteignent à peu près complétement; à peine voit-on quelques parties moins noires que le reste. La bordure se compose de quatre trapèzes qui s'éteignent ensemble lorsque le plan de polarisation est à 45° d'une diagonale. On a donc ici les mêmes phénomènes que dans la boracite; les quatre cristaux, visibles dans la topazolite, et qui correspondent à un même rhombe, sont à peu près complétement mélangés, et le cristal d'ouwarowite est formé, comme celui de boracite, de 12 cristaux orthorhombiques correspondant à chaque face du dodécaèdre.

Comme on devait s'y attendre, les faces de l'ouwarowite sont à peine ondulées et presque complétement planes.

Si l'on soumet aux épreuves optiques les jolis grenats almandins de Mussa, dont les faces rhombes sont parfaitement unies, et qui ne portent de stries que sur les faces a^2, parallèlement aux intersections avec les faces b^1, les lames paraissent à peine biréfringentes, quelle que soit la direction suivant laquelle on les taille. On observe cependant des bandes parallèles dont l'intensité lumineuse varie un peu, et qui montrent encore, par leur direction, les mélanges, semblables à ceux de l'aplome, qui constituent le cristal.

Si enfin on étudie les grenats trapézoédriques du Tyrol, on n'observe plus à peu près aucun phénomène optique,

et la substance paraît presque absolument monoréfringente. Les grenats mélanites d'Arendal sont dans le même cas.

En résumé, les cristaux de grenat, malgré la constance de leur forme cristalline générale, présentent des variations très-intéressantes dans la constitution intérieure.

Les uns, comme la topazolite, sont formés par l'assemblage complexe de 48 cristaux pyramidaux, à symétrie anorthique, ayant pour bases les 48 faces d'un hexoctaèdre. Cet assemblage complexe, dû aux douze positions différentes que peut prendre un réseau triclinique quasi-cubique, est d'ailleurs soumis aux règles générales que j'ai fait connaître.

Les accidents des faces cristallines témoignent extérieurement de ce groupement complexe intérieur.

Toutefois les nombreuses orientations que prend, dans un cristal de grenat, le réseau anorthique fondamental tendent à se confondre. Il y a surtout tendance à la confusion entre les cristaux qui correspondent à un même rhombe. Le mélange, déjà très-sensible dans la topazolite, s'accuse plus fortement dans l'aplome, dans les mélanites de Zermatt, etc., et les cannelures des faces cristallines témoignent de ce mélange intérieur.

Dans l'ouwarowite, le mélange des quatre orientations du réseau correspondant à chaque rhombe est à peu près complet; les faces cristallines deviennent presque lisses, et l'on peut considérer le cristal comme formé, ainsi que la boracite, par six orientations différentes d'un réseau orthorhombique.

Dans l'almandin de Mussa, et surtout dans les trapézoèdres du Tyrol, le mélange s'étend à toutes les orientations différentes que prend le réseau dans la topazolite; la substance paraît constituée par un réseau presque exactement monoréfringent (*).

(*) Il me paraît très-vraisemblable que les gadolinites, les alla-

En étudiant les cristaux de grenat au point de vue où l'on se place d'ordinaire, où l'on se place, par exemple, pour étudier les cristaux de feldspath, on devrait donc dire que le grenat est trimorphe, qu'il est *anorthique* dans la topazolite, *orthorhombique* dans l'ouwarowite, et enfin *cubique* dans les cristaux du Tyrol. On ajouterait d'ailleurs que, dans certains cristaux, comme ceux d'aplome, il y a un mélange de deux ou même de trois de ces différentes espèces dans lesquelles on diviserait le genre grenat. Cette division du groupe grenat en trois espèces différentes serait appuyée sur les observations goniométriques et cristallographiques, car il est évident que les stries de la topazolite et de l'aplome peuvent être considérées comme jouant le même rôle que celles du microcline ou de l'albite.

Il me semble évident que le point de vue où je me suis placé est le seul admissible, le seul qui explique les passages insensibles qui existent d'une variété à l'autre et qui soit complétement d'accord avec les faits comme avec les lois générales de la science.

Sénarmontite.

On sait que l'oxyde d'antimoine se présente sous deux formes incompatibles : la *sénarmontite*, qui cristallise en octaèdres avec des clivages octaédriques, et l'*exitèle* ou *valentinite*, dont on rapporte les cristaux au système orthorhombique.

La sénarmontite présente des anomalies optiques signalées depuis longtemps par M. Des Cloizeaux, qui a constaté dans des plaques parallèles à la face du cube, et soumises à la lumière convergente, la présence d'anneaux peu excentrés, avec la barre noire. Il faut remarquer que c'est la

---

nites, les orthites, qui présentent à la fois des variétés clinorhombiques et des variétés monoréfringentes, possèdent une structure cristalline analogue à celle du grenat.

troisième fois que l'on rencontre dans des cristaux pseudo-cubiques un axe optique perpendiculaire à la face du cube. Il y a là une curieuse relation entre les constantes optiques et les axes cristallographiques.

Quoi qu'il en soit, si l'on taille une lame parallèle à une face b^1 (que la nature ne présente pas) et passant par le milieu du cristal octaédrique, on obtient, entre deux Nicols croisés, des phénomènes qui sont assez bien représentés par le diagramme, Pl. II, *fig.* 23, sauf que les lignes de division des sections intérieures *ac*, *bd*, *ef*, *gh*, au lieu d'être des droites nettes, sont assez fortement ondulées. Ces irrégularités sont surtout sensibles dans les lignes *ef*, *gh*, perpendiculaires aux côtés du rhombe extérieur.

Cette division est exactement celle que l'on obtiendrait si les cristaux de sénarmontite étaient formés comme ceux de grenat topazolite. La sénarmontite est donc composée de 48 cristaux différents disposés comme je l'ai déjà dit pour le grenat.

Les petits secteurs *m*, *m'*, opposés par le centre s'éteignent en même temps suivant une droite qui, partant du sommet *b* et dirigée dans l'intérieur du secteur, fait un angle d'environ 12° avec la petite diagonale. Les 4 grands secteurs *pp* s'éteignent en même temps suivant une droite inclinée de 45° sur les diagonales.

Si la lame est taillée parallèlement à *p*, on obtient des phénomènes que représente passablement le diagramme *fig.* 24. Les côtés du carré sont parallèles à l'intersection des clivages octaédriques. Les diagonales *ad*, *bc* sont très-nettement marquées, mais il y a tendance très-forte au mélange des deux secteurs séparés par une médiane, et ces médianes *eg*, *fh* sont à peine indiquées. Ces lames, lorsqu'elles sont taillées bien perpendiculairement à l'axe quaternaire, s'éclairent fort peu entre deux Nicols croisés, ce qui se comprend puisque l'axe pseudo-quaternaire est un axe optique.

Les cristaux de sénarmontite sont donc bien formés sur le même plan que ceux du grenat, mais la tendance au mélange ne s'exerce pas dans les deux substances entre les mêmes cristaux adjacents. Dans le grenat, cette tendance s'exerce entre les 4 cristaux correspondant au même rhombe ; dans la sénarmontite, elle s'exerce entre les 6 cristaux correspondant à un même axe ternaire. C'est sans doute à cette différence qu'est due celle qui existe entre les formes prédominantes propres à chaque espèce.

Puisqu'il y a un axe optique dirigé suivant un axe quaternaire, et que les secteurs *pp* (*fig.* 23, Pl. II) s'éteignent à 45° des diagonales, il est aisé d'en conclure que l'autre axe est situé dans un plan perpendiculaire à l'axe quaternaire, et par conséquent que l'angle des axes est à peu près de 90°, comme dans la boracite. D'ailleurs, les secteurs *m* et *n* ne s'éteignant pas suivant la diagonale, l'autre axe optique ne peut être dirigé suivant un autre axe quaternaire. Il résulte en outre de la valeur de l'angle d'extinction des secteurs *m*, *m'*, que le plan des axes optiques ne correspond à aucun plan de symétrie cristallographique, et qu'ainsi le réseau de la sénarmontite est anorthique, comme celui de la topazolite.

Cette conclusion est intéressante, car les cristaux d'exitèle pouvant être considérés comme des prismes orthorhombiques de 70° 32', et manifestant d'ailleurs, par leurs phénomènes optiques, des indices de groupements, on n'a plus de raison valable de croire au dimorphisme de l'oxyde d'antimoine, et il est beaucoup plus vraisemblable d'admettre que les deux formes dimorphes observées proviennent de deux groupements différents d'un même réseau anorthique.

Analcime.

Brewster (*) est le premier qui ait fait remarquer que l'analcime, bien qu'en apparence cubique, agit sur la lumière polarisée et présente des phénomènes de double réfraction singuliers.

Plus tard, Biot, dans son grand travail sur la polarisation lamellaire, rencontra les phénomènes signalés dans l'analcime par Brewster; mais, sans s'y arrêter, il se borna à proposer pour eux la même explication que celle que lui avaient suggérée les phénomènes présentés par l'alun, l'apophyllite, etc. M. Des Cloizeaux se contente de mentionner les faits connus en signalant leur analogie supposée avec les phénomènes optiques présentés par le verre trempé.

J'ai examiné avec soin de nombreux échantillons d'analcime. Ceux qui proviennent des îles Cyclopes présentent un éclat vitreux et une transparence si parfaite qu'on s'attendrait à trouver très-aisée la mesure des incidences des faces. Malheureusement on ne tarde pas à se convaincre que ces faces si éclatantes sont formées de plans multiples, et que toute mesure précise est impossible. Je n'ai donc pas pu m'assurer si la symétrie cubique apparente est bien réelle au point de vue goniométrique.

Nous savons déjà d'ailleurs que les accidents, analogues à ceux du grenat, qui se rencontrent sur les faces de l'analcime sont en général des indices de groupements intérieurs.

Les phénomènes optiques confirment l'existence de semblables groupements dans les cristaux d'analcime. Si, dans un cristal où les faces cubiques sont très-développées, on taille une lame parallèle à l'une de ces faces, et si on la place dans la lumière polarisée parallèle, avec

(*) Transaction of the Royal Society of Edindurg, vol. X (1826), pages 187 et suiv.

les Nicols croisés, le plan de polarisation primitif étant parallèle à l'une des diagonales de la face, on voit cette face partagée par une sorte de croix noire irrégulière (Pl. II, *fig.* 26), dont les côtés sont divisés, suivant les diagonales, en quatre secteurs colorés de teintes pâles allant en se fondant graduellement du blanc au jaune. Les lignes isochromatiques sont grossièrement parallèles aux diagonales, et la teinte la plus foncée est placée vers la partie médiane du bord du secteur.

Si l'on change l'orientation de la lame, les diagonales restent toujours noires, mais les secteurs deviennent moins colorés et s'éteignent tout à fait lorsque le plan de polarisation est parallèle à l'un des côtés du carré formé par la plaque.

Si l'on taille la lame dans le voisinage de la face du cube, on voit les mêmes phénomènes subsister, mais il se forme au centre un carré dont les côtés sont parallèles à ceux de la lame, et qui n'agit plus sur la lumière polarisée. Ce carré va en grandissant à mesure que la lame s'amincit, et finit par supprimer complétement les secteurs actifs.

On explique très-simplement ces phénomènes en supposant que les cristaux d'analcime sont formés de l'assemblage de trois cristaux quadratiques (presque cubiques), dont les axes quaternaires sont disposés parallèlement aux trois directions rectangulaires de l'espace. Ces trois cristaux, qui se pénètrent mutuellement, se raccordent intérieurement suivant les six plans diagonaux d'un cube; l'assemblage revêt extérieurement une forme pseudo-cubique.

Cet assemblage, coupé par un plan de symétrie du cube, est représenté *fig.* 27, Pl. II. La direction des hachures indique celle des axes quaternaires.

Si l'on coupe le cristal par un plan MN parallèle à AB, la partie AoB n'agit pas sur la lumière polarisée parallèle;

mais si l'on représente la projection sur un plan parallèle à MN de la plaque AB*ab*, en supposant enlevé le cristal A*o*B, on verra que cette plaque comprend encore dans les secteurs projetés en B'*o*B, A'*o*A, des prismes quadratiques dont l'axe quaternaire est parallèle à AB, et dans les secteurs A*o*B, *b'o*B', des prismes quadratiques dont l'axe quaternaire sera parallèle à BB'. Ces prismes agiront sur la lumière polarisée; ils donneront donc quatre secteurs colorés, qui seront à leur maximum de coloration lorsque le plan de polarisation sera parallèle aux diagonales A'B ou B'A, et qui s'éteindront à la fois lorsque ce plan sera parallèle aux côtés du carré.

Pour vérifier cette hypothèse, on peut tailler une plaque perpendiculaire à l'une des diagonales du cube; elle coupe alors trois des cristaux de l'assemblage, et est partagée en trois secteurs qui viennent se raccorder en son centre de gravité. Lorsque le plan de polarisation est perpendiculaire à l'un des côtés EF du triangle, le secteur OG (Pl. II, *fig.* 29) est éteint et les deux autres éclairés. Les trois secteurs sont limités par des lignes noires, dont les positions par rapport à la plaque ne changent pas par le déplacement de celle-ci.

Enfin, pour dernière confirmation, si, en amincissant de plus en plus la plaque AB*ab* parallèle à la face AB du cube, on a soin de conserver la face AB, et d'en rapprocher graduellement le plan *ab* de la section, on devrait arriver ainsi, lorsque la plaque est amincie (il ne faut pas pousser cet amincissement trop loin, car la faible biréfringence de la matière ferait évanouir tous les phénomènes), à n'avoir plus au centre qu'un cristal quadratique, dont l'axe principal devrait être normal à la plaque. La partie centrale de la plaque devrait donc être sans action sur la lumière polarisée parallèle, et donner dans la lumière convergente la croix noire des cristaux uniaxes. C'est en effet ce qu'on observe au moins à peu près. Mais en examinant avec

attention le phénomène, on s'aperçoit cependant que la plage centrale ne reste pas tout entière éteinte, quel que soit l'azimut, dans la lumière parallèle. La croix noire, dans la lumière convergente se disloque très-manifestement, en se transformant en certains points en hyperboles dont l'axe peut affecter deux directions rectangulaires. Enfin, sur les bords *abcd* de la plage centrale, à peu près uniaxe (Pl. II, *fig.* 30), on distingue une bordure irrégulière formée de bandes qui viennent se réunir suivant la diagonale du carré. Chaque bande située de part et d'autre d'une même diagonale montre, à la lumière convergente, des hyperboles noires dont les axes sont respectivement parallèles aux côtés du carré.

Chacune des huit pyramides à base carrée dans lesquelles on a décomposé les cristaux d'analcime, au lieu d'être rigoureusement quadratique, est donc formée elle-même de quatre pyramides ayant respectivement pour bases les quatre triangles découpés par les diagonales. Ces pyramides sont orthorhombiques et sans doute ont un axe pseudoquadratique. Ces cristaux se fondent en quelque sorte tout autour de l'axe pseudocubique qui leur est commun, et donnent ainsi dans cette partie du cristal un édifice presque quadratique.

En résumé, les cristaux d'analcime sont formés de trois cristaux qui se pénètrent suivant les trois directions rectangulaires de l'espace. Chaque cristal pseudo-quadratique est lui-même formé de deux cristaux orthorhombiques à axes horizontaux presque égaux. Les vingt-quatre cristaux orthorhombiques qui composent un cristal d'analcime correspondent aux vingt-quatre faces d'un hexatétraèdre. La *fig.* 31 montre la nature de l'assemblage qui constitue les cristaux d'analcime. Remarquons que les pyramides très-surbaissées qui se présentent sur les faces *p* des cristaux d'analcime dont la forme générale est cubique, sont en rap-

port, comme dans la topazolite, avec la constitution intérieure de la substance.

Il est intéressant de rapprocher les particularités cristallographiques que nous venons de découvrir dans l'analcime de celles qui caractérisent une autre zéolite, la *christianite*. Cette substance cristallise, suivant M. Des Cloizeaux, dans le système orthorhombique, avec des axes qui sont entre eux à peu près (*) comme les nombres

$$826 : 565 : 731.$$

Les cristaux sont maclés par pénétration de trois individus se pénétrant à angle droit, et chaque individu lui-même est formé par la pénétration de deux cristaux orthorhombiques. L'architecture de la christianite est donc précisément celle que j'ai reconnue dans l'analcime, et il me paraît très-vraisemblable que le réseau cristallin de ces deux substances est le même.

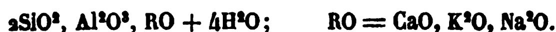
La composition chimique des deux zéolites est d'ailleurs très-voisine.

La formule admise pour l'analcime est, en effet :



$$2SiO^2, Al^2O^3, RO + 6H^2O; \qquad RO = CaO, Na^2O, K^2O,$$

et celle admise pour la christianite :



$$2SiO^2, Al^2O^3, RO + 4H^2O; \qquad RO = CaO, K^2O, Na^2O.$$

Fluorine.

Si l'on découpe des lames minces de fluorine parallèles aux faces du cube, on obtient, entre deux Nicols croisés, une extinction à peu près complète suivant un côté du carré, et suivant une diagonale, une sorte de marqueterie formée de carreaux gris et noirs, dont les côtés sont res-

(*) L'accord entre le calcul et les observations ne s'établit pour certains angles qu'à 2° 30' près.

pectivement parallèles à ceux du carré (Pl. II, *fig.* 32). Les diagonales se marquent assez nettement, surtout lorsque le plan de polarisation est parallèle au côté, parce qu'alors elles s'éclairent. On observe en même temps généralement une bordure se distinguant du noyau par une teinte d'une intensité différente.

Une lame parallèle à une face octaédrique (c'est la direction du clivage) montre une marqueterie analogue, mais formée par un système de lignes parallèles et perpendiculaires aux côtés du triangle de la lame, séparées par les trois diagonales du triangle. Les lignes du réseau s'éteignent respectivement suivant le côté correspondant du triangle. Les diagonales s'éteignent suivant les diagonales elles-mêmes (Pl. II, *fig.* 33).

Ces phénomènes montrent clairement que le réseau de la fluorine n'est pas cubique. Ils s'expliquent d'ailleurs simplement en admettant dans la fluorine un assemblage de cristaux rhombiques analogue à celui de l'analcime, et se traduisant au dehors, comme dans cette substance, par les stries parallèles aux côtés, et les pyramides surbaissées qu'on observe sur un grand nombre de faces cubiques. Seulement les cristaux composants, au lieu de se séparer assez nettement comme dans l'analcime, se mélangent en général plus ou moins complétement.

Alun.

Biot a étudié avec grand soin les phénomènes optiques que présente l'alun. J'ai pu, sur les cristaux mêmes qui ont servi à Biot, vérifier l'exactitude des observations décrites dans son mémoire.

Si l'on observe une plaque parallèle à une face *p*, on voit se dessiner, dans le carré *abcd*, Pl. II, *fig.* 34, qui limite la lame, une croix formée par les diagonales. Les quatre secteurs ainsi déterminés s'éclairent suivant les diagonales et s'éteignent suivant les côtés.

Si l'on taille une lame perpendiculaire à une arête de l'octaèdre et parallèle, par conséquent, à b^1, on la voit, lorsqu'elle est épaisse, présenter un rhombe de 109° 28′, divisé en quatre secteurs par les diagonales; les secteurs opposés par le centre s'éteignent suivant la direction du côté du rhombe (Pl. II, *fig.* 35).

On conclut aisément de ces observations qu'un cristal d'alun est formé de huit cristaux pyramidaux ayant pour bases les faces de l'octaèdre. Ces cristaux ont la symétrie ternaire. Aussi les lames taillées parallèlement à l'octaèdre paraissent-elles monoréfringentes.

B. — Substances pseudo-quadratiques.

Avant d'examiner chacune des substances pseudo-quadratiques étudiées, il est bon d'exposer la théorie générale des assemblages cristallins qui peuvent se rencontrer dans ces substances.

Le réseau primitif à forme-limite peut posséder rigoureusement l'un des trois modes de symétrie, orthorhombique, clinorhombique ou triclinique. Je me contenterai d'examiner ici les deux premiers cas, qui sont les plus intéressants.

Nous supposerons donc un réseau possédant au moins un axe de symétrie binaire quasi-quarternaire que je place perpendiculaire au plan horizontal de la figure, et, dans ce plan même, deux axes cristallographiques quasi-binaires, presque égaux et à peu près rectangulaires Oa et Ob (Pl. II, *fig.* 36). J'obtiendrai les orientations diverses du réseau qui peuvent s'associer dans le même cristal, en laissant l'axe vertical (de symétrie quasi-quadratique) dans une position fixe, et cherchant tous les moyens d'amener les axes horizontaux a_1 et b_1 dans des positions à peu près rectangulaires ou parallèles.

Pour atteindre ce but, on peut employer trois procédés différents :

1° On peut faire tourner le réseau de 90° autour de l'axe vertical;

2° On peut faire tourner le réseau de 180° autour d'une des bissectrices *d* de l'angle des axes;

3° Enfin, on peut faire tourner le dernier réseau de 90° autour de l'axe vertical.

On peut donc avoir quatre positions différentes du réseau que je désignerai dans l'ordre où je viens de les énumérer par les nos 1, 2, 3, 4.

Si le réseau est orthorhombique, les deux dernières positions ne différeront pas des deux premières. Il n'y aura donc que deux orientations différentes du réseau. Ces deux réseaux pourront rester isolés et occuper deux ou quatre secteurs de la base carrée. Ils pourront aussi se mélanger intimement, et ils donneront alors un cristal qui, au point de vue optique, paraîtra uniaxe puisque le mélange produira le même effet que le croisement, à angle droit, de lames de mica infiniment minces.

Si, au contraire, le réseau est clinorhombique, l'axe vertical, étant supposé binaire, sera encore un axe d'élasticité optique; les deux autres axes seront dans le plan horizontal, mais ne se confondront plus avec les deux axes cristallographiques *a* et *b*. Soit, dans la position n° 1 du réseau, OA_1 l'un de ces axes d'élasticité optique horizontaux (le seul que je représenterai sur la figure pour ne pas trop la compliquer); il est aisé de voir que cet axe d'élasticité viendra, dans les trois autres positions du réseau, occuper les positions OA_2, OA_3', OA_4. Les quatre orientations que j'ai reconnues possibles pour le réseau sont donc essentiellement différentes et ne produisent point les mêmes phénomènes optiques.

Ces quatre réseaux pourront être séparés les uns des autres et s'isoler dans quatre ou dans huit secteurs, comme on l'a déjà vu pour le grenat; ils pourront aussi se mélanger intimement de manière à n'en plus faire en apparence

qu'un seul; ce mélange pourra se faire de bien des façons différentes, puisqu'on peut comprendre la combinaison des quatre réseaux un à un, deux à deux, etc.

On verra des exemples nombreux de ces combinaisons, qui produisent des phénomènes optiques très-variés, dont il convient de dire, dès à présent, un mot. Lorsque les réseaux qui entrent dans la combinaison sont plus ou moins isolés les uns des autres, lorsque le mélange n'en est point intime, les phénomènes optiques sont analogues à ceux des lames croisées de mica dans les expériences de Norremberg et de Reusch. Dans une note, placée à la fin de ce mémoire, je fais voir comment on peut les prévoir, en partant de la théorie générale. Dans le cas que je viens d'examiner, et où les réseaux mélangés ont un axe optique commun, il est aisé de voir que s'ils ne subissaient aucune altération, leur axe commun, lorsqu'il deviendrait une bissectrice du cristal résultant du mélange, serait ou un axe minimum ou un axe maximum, mais ne pourrait pas être, dans le même cristal, tantôt maximum, tantôt minimum.

Or on trouve des substances à réseaux croisés dans lesquels l'axe commun des réseaux mélangés est tantôt minimum, tantôt maximum. Ces substances sont, il est vrai, de celles où les axes d'élasticité optique sont très-voisins de l'égalité, et où, par conséquent, de très-faibles variations dans la valeur de ces axes peuvent changer l'ordre de leurs grandeurs. Il n'en est pas moins vrai que dans les substances dont il s'agit, au nombre desquelles je citerai l'apophyllite parmi les substances pseudo-quadratiques et la chlorite parmi les substances pseudo-hexagonales, le mélange intime des réseaux doit amener certaines modifications dans les phénomènes optiques. Ces modifications sont dues, sans doute, à l'artifice encore inconnu qu'emploie la nature pour remédier à l'imperfection des matériaux qui entrent dans la construction des cristaux isomorphes.

Ferrocyanure de potassium.

M. Wyrouboff, dans un très-intéressant travail sur les cyanoferrures (*), a le premier débrouillé ce que la cristallisation de ce sel présente d'anomal, et j'ai vérifié, avant de les connaître, toutes les observations de ce savant.

Les cristaux de prussiate jaune se présentent ordinairement sous la forme de tables carrées, biselées sur les arêtes et possédant un clivage très-facile parallèlement à la surface des tables. Tous les cristallographes avaient assigné à ces cristaux la symétrie quadratique. M. Wyrouboff ne leur reconnaît que la symétrie clinorhombique, mais la forme primitive est bien voisine du prisme carré, car d'après les observations goniométriques de M. Wyrouboff, le prisme clinorhombique serait défini par les données suivantes :

$$ph^1 = 89°27' \quad a : b : c = 0,401 : 1 : 0,395.$$

Les observations optiques permettent seules de se prononcer nettement sur la nature de la symétrie ; mais elles présentent des anomalies si étranges que M. Des Cloizeaux, en les rapportant, persiste, quoique avec doute, à maintenir le prussiate jaune dans le système quadratique. M. Wyrouboff a montré que ces phénomènes optiques anormaux s'expliquent par la superposition de lames croisées.

Le cas est souvent des plus simples, et la nature a pris en quelque sorte la peine de réaliser sous nos yeux les combinaisons des lames de mica de Norremberg et de Reusch. En effet, il arrive que les lames de clivage du ferrocyanure sont homogènes dans toute leur étendue, et que la complication des phénomènes optiques ne provient que de la superposition à angle droit des lamelles successives. Dans ce cas, un simple coup d'œil sur les courbes développées dans la lumière con-

(*) *Annales de physique et de chimie*, 4e série, 8, 16 et 17, 1869.

vergente suffit à montrer quelle en est la nature, et l'on n'a qu'à provoquer le clivage pour obtenir une lame à peu près homogène sur laquelle on constate aisément que la ligne d'extinction fait avec la diagonale un angle de 13° environ. A la lumière convergente, on voit alors de très-belles lemniscates ; l'angle des axes est, d'après les mesures de M. Wyrouboff, de 112° 30′ environ dans l'huile. La dispersion est très-faible avec $\rho > v$.

Si l'on examine maintenant les phénomènes optiques présentés par le plus grand nombre des lames, on sera frappé de leur infinie variété. Il est difficile de trouver deux lames identiques, et le plus souvent une même lame montre, dans ses diverses plages, les apparences les plus dissemblables et les variations les plus grandes dans l'orientation des lignes d'extinction et dans l'ouverture des axes optiques. Les lemniscates montrent généralement une assez faible dispersion des axes, avec des couleurs ternes où le bleu violet domine ; dans certaines plages, au contraire, les axes rouges et les axes bleus se trouvent dans des plans rectangulaires entre eux.

Certaines lames paraissent, à la lumière parallèle, formées assez régulièrement de quatre secteurs limités par les deux diagonales du carré. Deux d'entre eux, opposés par le centre, ont le plan des axes à 58° environ d'un côté ; dans les deux autres secteurs le plan des axes est rectangulaire.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer que tous les phénomènes observés sont prévus par la théorie que j'ai donnée précédemment.

Apophyllite.

L'apophyllite est une des substances dont les propriétés optiques ont le plus excité l'étonnement. Signalées pour la première fois par Brewster (*), qui a particulièrement exa-

(*) *Transaction of the Royal Society of Edinburgh*, vol. IX, 1823, p. 317 et suiv.

miné les surprenantes figures que donnent les prismes de Feroë lorsqu'on les éclaire à la lumière polarisée parallèle, et par Herschell, qui a surtout étudié les phénomènes présentés dans la lumière convergente, ces anomalies optiques n'ont reçu encore aucune explication satisfaisante.

Biot, qui les a étudiées et décrites avec soin, a cherché à les expliquer par son hypothèse de la polarisation lamellaire.

M. Des Cloizeaux, dans le grand et fécond travail qu'il poursuit sur la détermination des caractères optiques de toutes les substances cristallines, a rencontré l'apophyllite, et a mentionné, avec son exactitude habituelle, les phénomènes que présente cette substance; mais il n'a point tenté d'en donner l'explication rationnelle.

Je me suis tout d'abord assuré que les cristaux d'apophyllite les plus nets ne présentent pas rigoureusement, au point de vue goniométrique, la symétrie quadratique. Une pyramide d'Andreaberg, formée par les faces a^1, m'a donné, pour l'angle des normales à ces faces avec les normales aux faces p, dans une zone :

$$\beta = 60^\circ\ 10'$$

et dans la zone perpendiculaire :

$$\gamma = 60^\circ\ 21'.$$

Dans un autre cristal, j'ai trouvé pour les mêmes angles :

$$\beta = 60^\circ\ 16',$$
$$\gamma = 60^\circ\ 28'.$$

Les angles β et γ devraient être égaux si la symétrie était rigoureusement quadratique.

Les angles des normales à deux faces a^1 adjacentes ont été, pour le premier cristal,

$$\alpha = 65^\circ\ 45',$$

pour le second cristal,

$$\alpha = 65^\circ\ 50'.$$

M. Des Cloizeaux donne pour la valeur de ces angles

$$\gamma = \beta = 60^\circ\ 32'; \quad \alpha = 66^\circ.$$

On pourrait être tenté d'expliquer, par des erreurs d'observation, les légères différences constatées ; mais les observations portent en quelque sorte, en elles-mêmes, la vérification de leur exactitude.

Si l'on désigne, en effet, par $d\alpha$, $d\beta$, $d\gamma$ les excès algébriques des observations sur les nombres donnés par M. Des Cloizeaux, il est aisé de voir que ces trois quantités doivent être liées par l'équation de condition

$$d\alpha = 0{,}47\,(d\beta + d\gamma).$$

Or, pour le 1er cristal, on a

$$d\alpha = -15' \text{ et } 0{,}47\,(d\beta + d\gamma) = -0{,}47\,(22 + 11) = -15',6.$$
$$\text{Diff. } +0'\,6.$$

Pour le 2e cristal

$$d\alpha = -10', \text{ et } 0{,}47\,(d\beta + d\gamma) = -0{,}47\,(16 + 4) = -9'\,4.$$
$$\text{Diff. } -0'\,6.$$

Il me paraît donc démontré que, dans les cristaux d'Andresberg tout au moins, la symétrie n'est pas rigoureusement quadratique, et que les incidences des faces présentent de légères variations jusque dans les échantillons provenant d'une même localité. Ces caractères appartiennent, on le sait, aux cristaux des substances à forme-limite, il est à présumer que l'apophyllite doit être rangé dans cette catégories. Les observations optiques que je vais rapporter ne laisseront aucun doute sur l'exactitude de cette conclusion.

Le mode de cristallisation de l'apophyllite est des plus simples et des plus constants. Presque tous les cristaux connus présentent le prisme m, plus ou moins cannelé et même arrondi, les faces brillantes et unies de la pyramide a^1, et la base p parallèlement à laquelle se trouve

un clivage très-facile remarquable par son éclat nacré. La principale différence entre les cristaux de diverses localités vient de la dimension plus ou moins considérable de la hauteur du prisme. Tantôt cette hauteur est faible, et les cristaux prennent la disposition tabulaire (Poonah, etc.), tantôt la hauteur est relativement grande, et la forme générale des cristaux est prismatique (Feroë, Zacatecas, Cziklowa, etc.). Je vais examiner successivement les cristaux de ces diverses localités.

Si l'on examine, à la lumière parallèle, la tranche d'un cristal de Poonah, on voit se dessiner, parallèlement à la base, une série de bandes vivement colorées qui s'éteignent suivant une direction parallèle à la hauteur. Si on clive le cristal, les diverses lames de clivage sont très-loin de posséder les mêmes propriétés optiques. Un très-grand nombre montrent à la lumière parallèle, les nicols étant croisés, un fond général à peu près noir qui s'éclaire faiblement, et par plages irrégulières, suivant les diagonales du carré. A la lumière convergente, on voit des anneaux alternativement blancs et d'un violet noir avec compensation positive (leucocyclite d'Herschell). Ces anneaux sont traversés par une croix noire qui se disloque plus ou moins dans certaines plages. En multipliant un peu les clivages, on finit par trouver dans certains cristaux, principalement dans le voisinage de la face *p*, des lames où la séparation des réseaux se fait d'une manière plus nette; telle est celle qui est représentée *fig.* 37, Pl. III, vue sous le microscope, entre deux nicols croisés, le plan de polarisation étant parallèle à une diagonale.

Le centre *c* de la plaque est occupé par une partie sensiblement uniaxe; la bordure est composée de deux parties *a* et *b* séparées par la diagonale. Ces deux parties s'éteignent en même temps suivant les faces du carré; elles sont

d'ailleurs de nature différente, car lorsqu'on interpose une lame sensible elles se colorent de couleurs complémentaires; enfin la lumière convergente montre, dans chacune d'elles, des lemniscates très-nettes, dont les axes sont dirigés perpendiculairement au côté adjacent. Les angles des axes optiques paraissent ouverts dans l'air de 30° environ. La dispersion est faible avec $\rho < v$. Les couleurs des lemniscates successives, analogues à celles de la leucocyclite, sont le violet foncé et le vert. La bissectrice est positive.

Les cristaux de Zacatecas (Mexique) sont des prismes cannelés et presque arrondis, terminés par la pyramide a^1. En examinant à l'œil une lame de clivage, on voit que le cristal est formé d'un noyau central dont la transparence est beaucoup moindre que celle de la bordure.

A la lumière parallèle, entre deux nicols croisés, lorsque le plan de polarisation est parallèle à une arête B, une lame de clivage montre les apparences représentées Pl. III, *fig.* 38. Quatre secteurs placés aux angles du prisme primitif, s'éteignent nettement suivant les diagonales. Au centre un carré parallèle à celui de la base reste éteint dans tous les azimuts en laissant visible une série de bandes inégalement sombres, parallèles aux côtés et se rencontrant sur les diagonales. Ce carré est lui-même inscrit dans un autre carré dont les côtés sont inclinés de 45° sur les siens; il s'éteint suivant les côtés de la base du prisme primitif, s'éclaire un peu suivant les diagonales de cette base, ce qui fait qu'il n'est bien visible que lorsque le plan de polarisation est dans la première position. Aux angles de ce carré viennent aboutir de larges bandes, parallèles aux côtés de la base, qui restent toujours à peu près éteintes. Elles paraissent formées d'une sorte de marqueterie de lignes croisées à angle droit et inégalement sombres.

La *fig.* 39, Pl. III, représente la même lame que la

fig. 38, mais observée après avoir fait tourner la lame de 45°. On y voit que tout le cristal ne s'éteint pas suivant les diagonales de la base, et qu'il y a certaiues bandes étroites qui, s'éclairant suivant cette direction, s'éteignent suivant les côtés de la base.

Dans la lumière convergente, les secteurs α, α', α'', α''', de la *fig.* 38, Pl. III, montrent des lemniscates dont les axes sont dirigés suivant les diagonales de la base, et, par conséquent, à angles droits dans deux sections adjacentes. Le carré central et les bandes rectangulaires paraissent uniaxes et montrent des cercles avec la croix noire. Les couleurs des courbes isochromatiques sont le violet et le vert, c'est-à-dire celles de la leucocyclite.

Les cristaux de Féroë présentent des particularités très-remarquables qui ont été décrites, il y a longtemps, par Brewster (*). Ces cristaux sont des petits prismes carrés allongés, terminés à leurs deux extrémités par la base p, avec de petites troncatures a^1 sur les angles.

Lorsqu'on observe dans la lumière polarisée parallèle, entre deux nicols croisés, un cristal complet couché sur une face m, la bauteur faisant un angle de 45° avec le plan de polarisation, on voit une foule de bandes très-vivement colorées, dans lesquelles domine le rouge, le vert et le jaune. La dispositon de ces bandes est, en général, symétrique de part et d'autre du milieu du cristal. La *fig.* 40, Pl. III, dessinée sur un cristal brisé vers son milieu, donne une idée de la disposition de ces couleurs.

Si on clive le cristal, on voit que la structure des lames de clivage varie beaucoup suivant que la lame est prise au centre ou près de l'extrémité.

La lame représentée *fig.* 41 a été prise vers le centre

(*) *Transaction of the Royal Society of Edinburgh*, vol. IX (1823), p. 317 et suiv.

du cristal ; elle paraît divisée à peu près exactement en quatre carrés par deux lignes médianes parallèles aux côtés. Dans chacun de ces carrés on voit, à la lumière convergente, des lemniscates violettes et vertes, dont les axes sont dirigés suivant les diagonales de la base.

La lame représentée *fig.* 42, prise vers l'extrémité du cristal, paraît à peu près complétement uniaxe dans toute son étendue, sauf dans quatre petits secteurs près des angles.

L'apophyllite se présente dans une localité nommée Cafre-d'Or (Nova Scotia), sous forme de cristaux tabulaires accolés en lames légèrement divergentes. Les contours extérieurs montrent les faces *m* et a^1 très-nettes ; la surface des tables est, au contraire, très-irrégulière. Lorsqu'on fait disparaître, par le polissage, ces irrégularités superficielles, on constate que chaque table est formée de deux parties différentes séparées par une ligne perpendiculaire à une des faces *m* (Pl. III, *fig.* 43). Dans chacune de ces deux plages, on voit, à la lumière convergente, se dessiner des lemniscates dont les axes sont dirigés suivant les diagonales de la base. Les couleurs de ces lemniscates sont celles de la leucocyclite.

Dans cette curieuse variété on ne voit, en aucun point, de parties présentant l'apparence uniaxe.

On trouve à Andreasberg de beaux cristaux d'apophyllite prismatiques, surmontés par des pyramides très-régulières. Lorsqu'on clive la partie supérieure de ces pyramides, on voit se dessiner, à la lumière polarisée, quatre secteurs séparés par les diagonales et s'éteignant à peu près suivant les diagonales. Il faut se rappeler que les diagonales sont parallèles aux côtés de la base du prisme, la plaque étant découpée dans la pyramide a^1. L'extinction est bien loin d'être nette, comme on a tâché de le montrer dans la *fig.* 44, où la ligne PP marque, comme dans les fi-

gures précédentes, la direction du plan de polarisation. On y voit deux secteurs presque complétement éclairés, tandis que les deux autres sont plus ou moins éteints. Quelques parties de la lame ne s'éclairent plus du tout et présentent les phénomènes des uniaxes.

A la lumière convergente ces dernières parties montrent des anneaux à croix noires, les autres des lemniscates à pôles plus ou moins écartés. L'orientation des axes et des courbes est assez variable; elle se rapproche de celle de la diagonale et est, par conséquent, à peu près parallèle aux *côtés* de la base de la forme primitive. Les couleurs des courbes isochromatiques ne sont plus celles de la leucocyclite; le rouge et le vert dominent comme dans la plupart des autres substances cristallines.

On rencontre à Cziklowa (Banat) des cristaux prismatiques peu allongés, à peine modifiés par de petites troncatures a^1. Ces cristaux, couchés sur une face *m* et examinés à la lumière parallèle, montrent perpendiculairement à la hauteur des bandes colorées, alternativement rouges et vertes et extrêmement minces, sauf dans le voisinage immédiat de la base où elles deviennent plus épaisses. Placés parallèlement à la base, les cristaux s'éclairent à peine, quel que soit l'azimut et ne montrent qu'un quadrillage très-peu apparent formé par des lignes un peu moins sombres que le reste, parallèles aux côtés de la base. A la lumière convergente, on voit se dessiner, sur un fond bleu violet, une croix noire, peu nette, à compensation négative.

Biot avait collectionné un grand nombre d'échantillons d'apophyllite, intéressants au point de vue optique. Je les ai examinés avec soin, et j'ai pu ainsi observer quelques faits nouveaux.

Une table épaisse de clivage, communiquée jadis par

Herschell à Biot, présente cette particularité qu'une plage montre les anneaux ordinaires de la leucocyclite, tandis qu'une autre plage séparée de la première par une ligne assez régulière, parallèle à une diagonale de la base, montre la croix noire sur le fond violet des cristaux de Cziklowa. A la lumière parallèle les deux plages paraissent comme quadrillées par des lignes plus sombres que le reste; celle qui montre la croix noire prend une couleur bleu foncé. Une particularité très-intéressante, c'est que dans la bande très-étroite qui sépare les deux plages, on voit les *anneaux rouges et verts* des cristaux d'Andreasberg se substituer aux anneaux violets de la leucocyclite. La croix noire de la plage bleue se disloque un peu par places, en montrant des hyperboles noires; le fond est bleu entre les deux sommets de l'hyperbole, violet entre chacune des deux branches. La compensation est positive pour la lumière rouge, négative pour la lumière verte.

Une lame de clivage assez épaisse montre à la lumière convergente une croix noire légèrement disloquée sur fond jaune, une teinte rougeâtre dans les branches de l'hyperbole. La compensation est *positive* pour le rouge, incertaine pour le bleu et le vert.

Une lame de clivage analogue à la précédente, et qui provient probablement de cristaux de la même localité, montre à la lumière convergente une croix noire sur fond rougeâtre. La compensation est *négative* pour le rouge, *positive* pour le bleu et le vert.

Une autre lame de clivage montre une croix noire sur fond rouge. On la sépare elle-même en deux par le clivage. Dans l'une des deux lames ainsi formées la compensation est positive pour le rouge, incertaine pour le bleu et le vert; dans la seconde, elle est négative pour le rouge, incertaine, mais probablement positive pour le bleu et le vert.

Un petit cristal très-net, portant les biseaux b^2, et les troncatures a^1, montre, à la lumière convergente, les apparences représentées *fig.* 47 *bis*, Pl. III. Les diagonales de la base sont marquées par des bandes qui s'éclairent un peu lorsque, comme dans la figure, leur grande longueur se trouve à 45° du plan de polarisation. Ces bandes s'éteignent à peu près complétement lorsque ce plan est dirigé suivant leur longueur.

Les plages triangulaires qui se trouvent en dehors de ces bandes restent toujours à peu près complétement éteintes. Toute la lame est traversée par des espèces de hachures parallèles aux diagonales et aux côtés.

Les plages, dirigées suivant les diagonales, montrent à la lumière convergente des hyperboles brunes dont les sommets sont écartés de 30 à 40°, et dont l'axe transverse est *perpendiculaire* sur la diagonale.

L'espace compris entre les sommets est bleu pâle; l'espace compris entre les branches de l'hyperbole est violet. Avec le verre bleu, les hyperboles s'accentuent et deviennent noires; avec le verre rouge, elles disparaissent à peu près complétement; les sommets viennent se toucher, et, peut-être même, leur axe transverse est-il perpendiculaire à celui des hyperboles vues à travers le verre bleu.

Les plages triangulaires qui ne s'éclairent pas dans la lumière parallèle, montrent à la lumière convergente une croix brune sur fond bleu. La compensation est négative pour le bleu et le vert, incertaine, mais probablement positive, pour le rouge.

On voit quelle est l'extrême complication des phénomènes optiques que présente l'apophyllite. Je vais essayer de montrer qu'ils ne sont cependant point rebelles à toute théorie.

Si l'on revient à la théorie générale des assemblages, que peuvent former les réseaux quasi-quadratiques, on verra que l'on peut imaginer d'abord deux combinaisons :

l'une proviendra de la fusion des deux réseaux 1 (*) et 3, l'autre de celle des réseaux 1 et 4 (Pl. II, *fig.* 36). Si les réseaux composants sont en proportion égale, les axes d'élasticité seront dirigés dans chaque combinaison, à 45° les uns des autres. Si le réseau fondamental était exactement quadratique, la fusion des deux réseaux 1 et 3 pourrait se faire sans que chacun des deux fût altéré, et les constantes optiques du réseau résultant pourraient se déduire géométriquement de celles des réseaux composants. Mais il n'en est pas ainsi; la combinaison des deux réseaux 1 et 3 est accompagnée d'une déformation qui les rapproche l'un de l'autre. Cette déformation modifie les constantes optiques. Il n'y a donc pas de relation rigoureusement mathématique entre les constantes optiques de la combinaison 1-3 et celles de la combinaison 1-4. Il pourra ainsi se faire que la première combinaison étant négative, la seconde soit positive, et cela se produira d'autant plus aisément dans le cas de l'apophyllite, que les axes d'élasticité optique sont très-peu différents les uns des autres, puisque M. Des Cloizeaux donne pour l'apophyllite de Naalsoë $a = 1,5317$, $b = 1,5331$. De légères altérations des axes horizontaux suffiront donc pour que l'axe vertical qui était le plus petit devienne le plus grand, et réciproquement. Les cristaux qui sont négatif le sont d'ailleurs très-peu énergiquement.

Chacune des deux combinaisons précédentes telle que 1-4 s'associe généralement avec une autre combinaison rectangulaire 2-3, de manière que chacune d'elles s'isolant aux quatre angles du carré (ainsi que cela a lieu dans les cristaux de Zacatecas), il y ait le long des lignes médianes en croix, une fusion des deux combinaisons, qui produit un cristal d'apparence uniaxe. Le plus souvent la combinaison 1-4 est

(*) Je désigne par réseau 1, le réseau de la substance lorsqu'il est placé dans la position où il possède l'axe d'élasticité optique OA, de la *fig.* 36, Pl. II.

intimement mélangée avec 1-3, et l'axe d'élasticité, au lieu d'être dirigé exactement suivant l'axe cristallographique O*a*, se rapproche de O*d*, d'autant plus que la combinaison 1-3 est en plus forte proportion. Ce mélange d'un réseau énergiquement positif en faible proportion avec un réseau faiblement négatif en proportion considérable, donnera tantôt des cristaux négatifs au moins pour certaines couleurs, telles que celui de la *fig.* 45, ceux de Cziklowa ou d'Utoë; tantôt des cristaux à peine positifs, comme ceux qui montrent la croix noire sur fond orange; tantôt enfin, et c'est le cas le plus fréquent, des cristaux décidément positifs, mais dont les anneaux présenteront des couleurs singulières dues à cette compensation, variable pour chaque longueur d'ondulation, à laquelle donne lieu la superposition d'un cristal positif et d'un cristal négatif. Telle est l'explication des anneaux leucocyclites des cristaux de Zacatecas, de Féroë, de Caffre d'Or, etc.

Si, au contraire, c'est la combinaison positive 1-3 qui, dans le mélange avec 1-4, devient prépondérante, l'axe d'élasticité optique se rapprochera de O*d* (c'est-à-dire dans le cas de l'apophyllite, de la parallèle au côté du carré), et les couleurs des anneaux se rapprocheront en même temps des nuances habituelles. C'est ce que l'on observe en effet, comme je l'ai fait remarquer, dans certains cristaux d'Andreasberg.

Un lien logique se trouve donc établi entre tous les phénomènes optiques de l'apophyllite, et c'est tout ce qu'il est possible de faire dans l'état actuel de la science. Il a suffi, pour établir ce lien, d'admettre :

1° Que le réseau de l'apophyllite est clinorhombique et quasi-quadratique;

2° Que la déformation nécessaire pour faire entrer dans le même cristal les éléments isomorphes formés par les diverses orientations du réseau primitif peut donner, suivant les cas, un cristal positif ou un cristal négatif.

Idocrase.

Sauf la dislocation des anneaux vus dans la lumière convergente, aucune des anomalies optiques de l'idocrase n'a, à ma connaissance, été signalée. Elles présentent cependant un intérêt réel. C'est dans les cristaux limpides d'Ala qu'elles sont le plus faciles à étudier.

La *fig.* 46, Pl. III, montre une plaque d'un de ces cristaux, de près de 5 millimètres d'épaisseur, vue à la lumière parallèle entre deux nicols croisés. La plaque est partagée par les diagonales du carré de la base, en quatre secteurs qui s'éteignent suivant les normales aux côtés. A la lumière convergente apparaissent des lemniscates dont les axes sont dirigés suivant ces normales. Deux secteurs adjacents sont donc occupés par des réseaux croisés à angle droit qui se mélangent sur leurs bords communs, de sorte que les parties hachées de la *fig.* 46, Pl. III, ne s'éclairent dans aucun azimut, et donnent des cercles à la lumière convergente. La structure est, on le voit, entièrement analogue à celle des cristaux d'apophyllite d'Andreasberg ou de Zacatecas.

Un cristal prismatique bien pur, que Biot avait fait tailler suivant des faces verticales perpendiculaires entre elles, mais un peu différentes des faces *m*, montre, lorsqu'on l'examine à travers l'une de ces faces artificielles, la disposition représentée *fig.* 47, Pl. III. Du côté de la base *p*, se trouve une zone dans laquelle on voit de très-fines lignes rouges et vertes parallèles à cette base. Puis, à une certaine distance, les teintes vertes et rouges se mélangent confusément, de manière à former une sorte de moiré. Dans certaines plages étroites disposées le long des arêtes verticales se dessine un moiré violet et vert.

Toutes ces colorations, très-vives lorsque l'axe quadratique est à 45° du plan de polarisation, s'éteignent complétement lorsque cet axe est dirigé suivant ce plan.

Une lame taillée normalement à la partie inférieure de ce remarquable cristal a présenté à la lumière parallèle le dessin très-complexe représenté *fig.* 48.

Les lignes *ab*, *a'c*, *a'd*, *ae* donnent encore quatre secteurs disposés comme dans la *fig.* 46, et s'éteignent, comme ceux-ci, plus ou moins complétement suivant les perpendiculaires aux côtés de la base (*). On y voit à la lumière convergente, des lemniscates plus ou moins ouvertes, dirigées à peu près suivant ces normales. Mais on voit, sur le bord de la lame, des plages, nettement séparées, portant sur la figure la lettre *q*, qui s'éteignent suivant les diagonales de la base, en montrant des lemniscates à axes orientés suivant ces mêmes lignes.

On a donc, dans l'idocrase comme dans l'apophyllite, des plages biaxes, dont les axes horizontaux sont inclinés les uns sur les autres de 45°. On sait que cette disposition caractérise les cristaux quasi-carrés formés par un réseau clinorhombique.

Rutile. — Anatase — Brookite.

L'acide titanique des chimistes cristallise dans trois formes primitives incompatibles, qui se rencontrent dans la nature et qu'on a pu reproduire artificiellement.

Le rutile cristallise en prismes quadratiques pour lesquels $\frac{a}{c} = \frac{707}{644}$; l'axe vertical est optiquement positif. L'anatase est aussi quadratique, et $\frac{a}{c} = \frac{707}{2513}$; l'axe vertical est optiquement négatif.

La brookite est ortho et peut-être d'après M. Schrauf, clinorhombique ; $a : b : c = 765 : 722 : 644$; l'axe c (que

(*) Il ne faut pas oublier que la périmètre de la lame, représenté sur la figure, est artificiel et ne représente pas le carré de la base.

l'on place ordinairement horizontal et perpendiculaire à h^1) est une bissectrice positive. Le plan des axes optiques est tantôt parallèle à *a* avec $\rho > v$, tantôt parallèle à *b* avec $\rho < v$. Dans d'autres cristaux le plan des axes rouges étant parallèle à *a*, celui des axes verts l'est à *b*. La température fait varier, soit temporairement, soit d'une manière permanente, les constantes optiques.

On s'aperçoit très-aisément que le réseau du *rutile* n'est pas rigousement quadratique. Si, en effet, on taille dans un cristal de Saint-Yrieix une lame mince perpendiculaire à l'axe vertical, on voit à la lumière parallèle, entre deux nicols croisés, lorsque les côtés du carré sont à 45° du plan de polarisation, la lame présenter un quadrillage très-curieux, formé par un réseau de droites rectangulaires parallèles aux côtés. Des bandes colorées en rouge et hachées de lignes vertes se croisent et comprennent des carrés ou des rectangles non colorés, traversés par des lignes noires croisées (*fig.* 49). Tout s'éteint ou à peu près lorsque le plan de polarisation est dirigé suivant un côté de la base du prisme.

Les bandes, évidemment croisées, qui composent une lame de rutile, sont trop étroites pour qu'on puisse contrôler leur orientation par l'observation des lemniscates à la lumière convergente. On constate seulement que les anneaux se disloquent irrégulièrement, suivant le point de la lame que l'on vise.

Nous sommes maintenant trop habitués à ce genre de phénomènes pour ne pas voir dans ces faits la preuve que le réseau du rutile n'est pas quadratique, mais ortho et plus probablement encore clinorhombique.

La *brookite* se rapproche plus du rutile que de l'anatase. Elle cristallise généralement en tables minces, parallèles à *p* (*) portant des modifications plus ou moins nombreuses

(*) Je choisis cette position du cristal, au lieu de celle qui a été

sur les arêtes et sur les angles. Des stries très-nettes et très-profondes sont parallèles aux intersections des faces $e^{\frac{1}{2}}e^{\frac{1}{2}}$ (*mm* Des Cl.), et annoncent des mâcles perpendiculaires à l'axe pseudo-binaire horizontal minimum, celui que j'ai appelé *b*.

Si l'on prend un de ces cristaux minces comme on en rencontre dans le Valais, on voit le cristal se teindre à la lumière parallèle de couleurs assez vives ; quelques plages paraissent d'un beau vert, lorsque le reste est bien rouge. Des veines irrégulières d'une matière noire opaque (c'est probablement la variété de brookite connue sous le nom d'arkansite) sont disséminées dans la masse. La ligne d'extinction fait un angle de 12 à 13° avec les stries parallèles à l'axe *b*, ce qui indique d'ailleurs d'une façon certaine la nature monoclinique du cristal.

A la lumière convergente, on observe des phénomènes qui annoncent d'une manière non équivoque le croisement de lames cristallines sous des angles différents de 90°. Lorsque l'axe d'élasticité optique voisin de l'axe *b* est parallèle au plan de polarisation, on voit se dessiner une croix noire très-nette, dont les branches sont reliées par des courbes isochromatiques tournant leur convexité vers le centre (*fig.* 50). Par l'interposition d'un verre vert, les deux bras de la croix deviennent presque égaux ; avec un verre rouge ou en éclairant à la lumière de l'alcool salé, les courbes changent totalement ; elles présentent toutes leurs convexités vers le centre, et ne se distinguent plus de celles que l'on observe avec les cristaux biaxes ordinaires.

---

donnée par M. Des Cloizeaux, afin de faciliter la comparaison avec le rutile. La face *p* du texte correspond à la face h^1 (Des Cloizeaux); je prends pour faces *m* celles qui sont notées $e^{\frac{1}{2}}$ par M. Des Cloizeaux ; on a alors $mm = 86° 40'$. Ces angles sont d'ailleurs très-notablement variables.

La forme des courbes obtenues avec la lumière blanche, bleue et verte, est bien connue pour être celle que présentent les lames biaxes épaisses croisées à angle droit.

Les cristaux de Snowdon et de Tremadoc (Galles), présentent des phénomènes analogues, mais les différences sont importantes à signaler. Les cristaux toujours tabulaires et chargés de stries nettes montrent à la lumière parallèle des plages teintes de couleurs complémentaires; on voit aussi des bandes alternantes présentant les mêmes différences de teintes et parallèles aux stries des faces. Dans la lumière convergente, les courbes isochromatiques présentent une forme analogue à celui des cristaux du Valais, mais s'éloignent moins de celle des lemniscates habituelles. Dans la lumière rouge et dans celle de l'alcool salé, on voit des lemniscates dont l'axe transverse est dans le même sens que dans les cristaux du Valais, *mais les axes sont beaucoup plus écartés.* Toutes les autres couleurs ont les axes transverses dirigés comme les axes rouges.

Ces phénomènes s'expliquent simplement si l'on admet que dans la combinaison de réseaux (1 - 4) (*fig.* 36) et dans la combinaison (2 - 3), les axes optiques s'ouvrant dans des sens rectangulaires, les angles de ces axes sont plus grands dans (1 - 4), par exemple que dans (2-3). Les lamelles (1 - 4) et (2 - 3) superposées donnent des cristaux dans lesquels les axes optiques s'ouvrent tous dans le même sens, si c'est (1 - 4) qui domine considérablement. Si (1 - 4) et (2 - 3) sont en proportions plus égales, les angles des axes de toutes les couleurs diminueront, mais il pourra se faire que, malgré cette diminution, les axes jaunes et rouges s'ouvrent encore dans le même sens, quand les axes bleus et verts s'ouvrent dans le sens perpendiculaire.

On sait que l'anatase cristallise habituellement en octaèdres clivables suivant la base et les faces octaédriques.

Les faces de l'octaèdre sont ordinairement notées b^1, sans aucune autre raison que la simplicité de la notation. Les axes cristallographiques se trouvent alors avoir pour longueurs respectives,

$$a : c = 1,000 : 2.513,$$

ce qui ne paraît présenter aucun rapprochement avec les axes du rutile ou de la brookite. Mais si l'on note l'octaèdre habituel $a^{\frac{1}{2}}$, les axes deviennent :

$$a : c = 707 : \frac{2.513}{4} = 707 : 628 = 1 : 0,8885,$$

ceux du rutile étant,

$$a : c = 707 : 644 = 1 : 0,9110,$$

et ceux de la brookite étant en moyenne

$$a : b : c = 0,842 : 1 : 0,936.$$

Sous cette forme, le rapprochement est évident, et l'anatase rentre dans la loi générale des corps polymorphes. Le changement que je propose est donc amplement justifié, d'autant plus qu'il simplifie au fond les notations, bien loin de les compliquer comme il serait très-aisé de le montrer (*).

Si l'on amincit parallèlement à la base, un cristal tabu-

(*) On me permettra de signaler, à cette occasion, les inconvénients que présente le choix, trop souvent arbitraire, que l'on fait de la forme primitive d'une substance donnée. La détermination de cette forme primitive est sans doute un problème délicat, qu'il n'est pas toujours possible de résoudre avec certitude, et qui ne peut l'être, en tous cas, qu'en faisant appel à des considérations d'un ordre très-varié. Mais il est impossible d'éluder et de passer, en quelque sorte, sous silence ce problème fondamental. En agissant ainsi on introduit dans la cristallographie la confusion qui régnerait dans la chimie si les chimistes ne s'étaient attachés à déterminer le mieux possible, et par la discussion la plus attentive, la valeur des poids atomiques des divers corps simples.

laire du Brésil, il montre assez souvent quatre carrés égaux juxtaposés. La séparation des carrés est marquée par des parties noires opaques; les diagonales le sont par des bandes étroites irrégulières jaunâtres. Le reste est formé par des bandes bleues alternant avec des bandes jaunâtres parallèles aux côtés, et se croisant rectangulairement. Lorsque la lame est épaisse, elle dépolarise la lumière et reste éclairée entre deux nicols croisés dans tous les azimuts, ce qui est, comme on le sait, le propre des substances dans lesquelles se trouvent superposées des bandes faisant entre elles des angles différents de l'angle droit. Cette conclusion est d'ailleurs confirmée par l'examen des courbes isochromatiques développées dans la lumière convergente, qui présentent les irrégularités connues en pareil cas.

En amincissant la lame on obtient des traces de polarisation dans des azimuts déterminés, et les courbes isochromatiques deviennent plus régulières. Ce sont des lemniscates à pôles peu écartés, et dont l'écartement variable peut devenir nul. L'orientation de la ligne des pôles varie également, depuis celle de la perpendiculaire à un côté, usqu'à celle d'une parallèle à la diagonale. La compensation est négative.

Les octaèdres de l'Oisans présentent des particularités identiques à celles que je viens de décrire; mais les pôles des lemniscates y sont moins écartés, et le caractère uniaxe plus accusé.

Tous ces faits s'expliquent si l'on admet que l'anatase est formée d'une superposition de lamelles clinorhombiques possédant, ou à peu près, le vrai réseau primitif de la substance, mais dont le caractère optique est négatif. On aurait ainsi superposées des lamelles de même nature, mais dont les axes auraient quatre orientations différentes, ce qui expliquerait la dépolarisation de la lumière suivant

tous les azimuts dans les bandes épaisses, l'orientation variable des lemniscates, l'écartement variable de leurs pôles dans les lames minces, etc.

En résumé, il n'est aucun des faits composant l'histoire de l'acide titanique cristallisé qui ne puisse s'expliquer en imaginant que la substance possède un réseau clinorhombique quasi-quadratique, susceptible de présenter des assemblages très-variés ; ou plutôt en dehors de cette hypothèse il n'est aucun de ces faits qui soit explicable. Il me paraît donc démontré que cette hypothèse est l'expression de la réalité, et que le polymorphisme si souvent attribué à l'acide titanique n'existe réellement pas dans le réseau cristallin primitif qui caractérise véritablement cette substance.

Cette conclusion est d'ailleurs conforme avec l'analogie qui existe entre les propriétés physiques des trois espèces cristallines entre lesquelles on a l'habitude de répartir les différentes variétés d'acide titanique. Toutes présentent les mêmes variétés de coloration, du brun au noir, en passant par le bleu; toutes possèdent le même genre d'éclat, inclinant au métallique, et qui devient surtout sensible par le polissage artificiel. Quant à la densité, elle varie, et les variations sont en rapport avec celles de l'assemblage, la densité étant d'autant plus grande que le cristal résultant provient d'une fusion plus intime de réseaux composants.

C'est ainsi que l'anatase où l'on a été conduit à admettre la superposition ou la juxtaposition des réseaux différemment orientés, et non leur combinaison intime, possède une densité qui se rapproche de celle du réseau primitif et est comprise entre 3,83 et 3,93.

Dans la brookite, où il y a une combinaison des réseaux seulement juxtaposés dans l'anatase, la densité varie, suivant les localités, de 4,08 à 4.137, et ces variations de densité, accompagnées de variations dans les formes cris-

tallines, sont en rapport, comme on sait, avec des variations dans l'assemblage.

Dans le rutile enfin, où la symétrie est la plus parfaite, où les combinaisons sont les plus nombreuses, la densité s'élève à 4,277.

Ces variations de densité n'ont, au reste, rien qui surprenne, car cette donnée physique est en rapport avec l'arrangement intérieur de la matière, comme le démontre le fait connu que dans les mélanges produits par isomorphisme, la densité n'est pas la moyenne de celles des corps mélangés. Les corps isomorphes, en se combinant, ont donc été altérés; la forme de leur réseau, et le réseau définitif qu'a produit cette sorte de transaction entre les réseaux composants possède une densité propre, qui n'est plus nécessairement la moyenne de celles des réseaux constituants. Dans les combinaisons dont nous nous occupons ici, le phénomène est identique au fond; il y a encore deux réseaux isomorphes qui se combinent en s'altérant mutuellement; seulement ces réseaux sont de la même nature et ne diffèrent que par leur orientation dans l'espace.

On sait que M. Hautefeuille a reproduit l'acide titanique cristallisé, avec toutes ses variétés naturelles, en mettant en présence dans un tube chauffé, du fluorure de titane et de la vapeur d'eau. Si la température du tube est inférieure à celle de la volatilisation du cadmium, on a de l'anatase d'une densité de 3.7 à 3.9. Si la température du tube est comprise entre celle de la volatilisation du cadmium et celle de la volatilisation du zinc, on a de la brookite, d'une densité de 4,1 à 4,2. Si enfin la température est celle du rouge vif, on obtient du rutile, d'une densité de 4,3.

Ainsi, à mesure que la température à laquelle se fait la cristallisation augmente, la symétrie augmente en même temps que la densité. Il en résulte que si l'on chauffe l'anatase, la combinaison entre les réseaux juxtaposés tendra à se produire, et la densité augmentera. M. Damour a en

effet constaté que la densité de l'anatase calcinée pouvait atteindre 4,16, c'est-à-dire celle de la brookite. Il eût été curieux d'examiner les propriétés optiques de cette anatase calcinée. L'expérience n'a pas été faite.

Elle l'a été au contraire pour la brookite; la calcination y développe des modifications optiques temporaires qui peuvent devenir définitives si la température est suffisamment élevée; ce qui démontre bien que la calcination produit dans la *combinaison* des réseaux des modifications profondes.

Enfin la calcination du rutile est incapable, comme on le conçoit, de modifier la densité.

Les faits qui précèdent me conduisent à dire quelques mots de la variation des constantes optiques sous l'influence de la température. Je crois qu'en principe, cette variation est très-faible, et de l'ordre de la dilatation des corps sous l'influence de la chaleur. C'est ce qui fait que les cristaux, orsqu'ils sont formés par un réseau simple, ou par une juxtaposition de réseaux simples qui ne peuvent se combiner à la température où ils sont portés, ne présentent, sous l'influence des variations de température, que des variations très-légères dans leurs propriétés optiques. Mais il en est tout autrement si le cristal est formé de réseaux combinés dont la combinaison peut se défaire, ou encore de réseaux juxtaposés qui peuvent se combiner entre eux sous l'influence de la température à laquelle ils sont soumis. Les variations optiques peuvent être alors considérables, car elles correspondent, non plus à une simple dilatation du réseau, mais à une modification profonde, analogue à celles que produisent les mélanges isomorphes (*). Telle est l'explication des faits nombreux si-

(*) C'est sans doute là, pour le dire en passant, l'explication des phénomènes anomaux que présente la dilatation des corps solides, principalement des corps cristallisés, et qui ont été si bien mis en lumière par les beaux travaux de M. Fizeau.

gnalés sur ce point par M. Des Cloizeaux. On est donc amené à penser que tous les cristaux qui, comme le feldspath, présentent, sous l'influence de la chaleur, des variations optiques temporaires ou permanentes considérables, sont formés par des assemblages intérieurs susceptibles d'être modifiés par la température. Dans les cristaux, au contraire, qui, comme l'apophyllite, l'idocrase, etc., présentent des réseaux juxtaposés non combinables à la température à laquelle ils sont portés, ou des réseaux combinés non décomposables à cette température, les phénomènes optiques devront paraître à peu près indépendants de la température.

Zircon.

Il est très-aisé de s'assurer, en observant des lames de zircon perpendiculaires à l'axe quadratique, que cette substance rentre dans le nombre de celles qui sont formées d'assemblages intérieurs. La *fig.* 51, Pl. III, montre une lame de zircon vue dans la lumière parallèle. Le cristal paraît réellement composé de deux parties ; une partie A colorée inégalement en brun, forme une sorte de noyau central en poussant des ramifications, et comme des filons dans la deuxième partie B qui forme l'enveloppe du cristal.

La partie A s'éclaire à peine entre deux nicols croisés, sauf dans la portion *a* composée de bandes parallèles à une diagonale, qui s'éteignent à peu près complétement suivant une droite parallèle ou perpendiculaire à cette diagonale, et s'éclairent inégalement à 45° de cette direction.

L'enveloppe B est formée de bandes parallèles aux côtés, qui s'éteignent à peu près suivant leur direction et s'éclairent inégalement suivant les diagonales. A la lumière convergente, la partie A montre des anneaux avec croix noire, la partie B des anneaux plus ou moins disloqués, passant à des lemniscates dont les axes sont perpendiculaires à la direction des bandes.

Le réseau du zircon peut donc être considéré comme clinorhombique. Les parties B de la *fig.* 51 sont formées par des juxtapositions du réseau combiné (1 - 4) (*fig.* 36) et du réseau uniaxe qui en dérive par combinaison avec le réseau perpendiculaire. La partie A est formée par la combinaison de (2-4) avec sa perpendiculaire, sauf dans la partie α où (2-4) et la combinaison perpendiculaire sont séparées.

Dans les cristaux d'Expailly et dans la plupart de ceux des autres localités, la disposition diffère peu de celle que je viens d'indiquer, et cette structure, en bandes parallèles très-minces, ne permet pas de constater très-aisément la dislocation des anneaux et la production des lemniscates propres aux biaxes. L'École des mines possède cependant un cristal verdâtre, d'une parfaite limpidité, qui se prête à cette observation.

Ce cristal est taillé en lame transversale d'une épaisseur de 2 à 3 millimètres. A la lumière parallèle on voit, en faisant tourner le cristal entre les deux nicols croisés, comme un nuage noir qui se déplace suivant l'azimut qu'on donne à la lame. A la lumière convergente se montrent des lemniscates parfaitement nettes, dont l'écartement des pôles et l'orientation des axes varient pour les différents points de la lame.

Ces faits ne me paraissent pas laisser de doute sur le caractère clinorhombique du réseau du zircon.

Mellite.

Je ne puis mieux faire que de citer pour cette substance les observations de M. Des Cloizeaux (*).

« Lorsqu'on soumet au microscope polarisant des lames

(*) *Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux.* Des Cloizeaux, Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences, t. XVIII (1868), page 525.

de diverses épaisseurs normales à l'axe principal cristallographique, on voit qu'il est assez rare d'en rencontrer de suffisamment homogènes pour montrer des anneaux bien circulaires traversés par une croix noire non disloquée. La croix se sépare souvent en deux branches plus ou moins écartées suivant les plages que l'on examine, et parfois ces branches sont assez nettes pour simuler parfaitement les hyperboles propres à un cristal à deux axes rapprochés. Elles offrent même, si la lame est suffisamment épaisse, une dispersion appréciable. De plus, certaines plaques, où les branches de la croix s'ouvrent dans un plan parallèle aux arêtes basiques de l'octaèdre carré dominant, paraissent composées de deux secteurs triangulaires assemblés suivant un des plans diagonaux de cet octaèdre, et offrent chacun une croix disloquée dans deux directions perpendiculaires entre elles ; ces plaques présentent donc le même phénomène qu'une mâcle formée par deux moitiés d'un octaèdre rectangulaire droit ou oblique, dont l'nn serait resté fixe, tandis que l'autre aurait tourné de 180°, autour d'un axe normal au plan d'assemblage. Mais ce qui prouve que dans la réalité la dislocation de la croix est purement accidentelle, c'est qu'elle a lieu tantôt dans un plan sensiblement parallèle aux arêtes de la base carrée, tantôt dans des plans très-voisins des deux plans diagonaux du prisme primitif. »

La théorie que j'ai exposée, et dont j'ai déjà montré de nombreuses justifications, me permet de ne point accepter les conclusions du savant observateur. Je ferai remarquer d'ailleurs qu'il serait bien extraordinaire qu'un phénomène *purement accidentel* fût soumis à des lois si justes que dans l'une des deux moitiés de la lame déterminées par une diagonale, les axes des lemniscates fussent orientés parallèlement, tandis qu'ils seraient exactement rectangulaires dans les deux moitiés contiguës. La variation observée par M. Des Cloizeaux, dans l'orientation des axes des

hémitropes, provient de la nature clinorhombique du réseau primitif et en est une conséquence nécessaire.

C. — SUBSTANCES PSEUDO-HEXAGONALES.

La classe des substances pseudo-hexagonales est une des plus anciennement connues, et les cristallographes ont été depuis longtemps conduits à ranger dans une classe spéciale les cristaux qui, bien qu'orthorhombiques, ont pour forme primitive un prisme dont l'angle est voisin de 120°. Tous les carbonates de la série barytique, le mica, la ripidolite, la chalcosine, la stromeyerine, etc., etc., appartiennent à cette catégorie. Toutes ces substances présentent l'aspect hexagonal, dû le plus souvent à des groupements analogues à ceux que j'ai signalés dans les cristaux pseudo-quadratiques et qui ont été étudiés avec soin par de Sénarmont dans l'aragonite.

Ces groupements peuvent tous s'expliquer par l'assemblage de plusieurs cristaux ayant tourné l'un par rapport à l'autre de 30°, de 60° ou de 120° autour d'un axe pseudoternaire. Ils sont donc conformes à la théorie que j'ai donnée plus haut. Il est à remarquer que l'axe pseudoternaire étant en même temps binaire, l'axe des cristaux qui dérivent de semblables groupements est toujours quasi-hexagonal. On ne peut arriver par cette voie à des cristaux à axe ternaire que lorsque la molécule est hémiédrique, et que le cristal orthorhombique primitif possède une hémiédrie telle que l'axe vertical n'est binaire que par rapport au réseau.

Mais on peut arriver à la symétrie ternaire du rhomboèdre en partant d'un prisme clinorhombique dont l'axe cristallographique vertical, non binaire, est quasi-ternaire, c'est-à-dire dont l'angle des faces *m* est voisin de 120°.

Il peut même arriver, si l'inclinaison de la face *p* sur les faces *m* est faible, et si, par conséquent l'axe cristallo-

graphique vertical est à la fois quasi-binaire et quasi-ternaire, qu'un semblable prisme clinorhombique conduise, suivant la manière dont se fera le groupement, soit à des prismes orthorhombiques voisins de 120°, soit à des rhomboèdres, soit à des prismes hexagonaux.

Je vais montrer que beaucoup de substances dont le réseau a jusqu'ici été supposé hexagonal ou rhomboédrique ne possèdent réellement que la symétrie ortho ou clinorhombique.

Apatite.

On rencontre à Shlaggenwald des cristaux violets d'apatite qui se montrent sous la forme de demi-prismes hexagonaux, assez courts, reposant sur la gangue par un plan diamétral. La *fig.* 52, Pl. III, montre un de ces cristaux réduit en lame mince parallèle à la base, et vu à la lumière polarisée parallèle. Le cristal paraît formé de trois plages distinctes. Chacune d'elles correspond grossièrement à un des côtés de l'hexagone avec des pénétrations mutuelles très-irrégulières. A la lumière convergente, chaque plage fait voir des lemniscates très-nettes et très-régulières, dont les axes sont dirigés de telle sorte que dans deux plages contiguës, ils font entre eux un angle de 60°. Le diagramme de la *fig.* 53, Pl. III, indique la structure théorique des cristaux de Schlaggenwald, sur la symétrie orthorhombique du réseau, desquels il ne peut y avoir aucun doute.

D'autres cristaux d'apatite, venant probablement de l'Estramadure, confirment cette conclusion. Ces cristaux, légèrement ondulées, se présentent sous la forme de prismes hexagonaux très-nets dont la surface est hérissée de grains cristallins de fer oxydulé. Une lame médiocrement mince, perpendiculaire à l'axe hexagonal, montre à la lumière convergente des anneaux disloqués. Si l'on amincit beaucoup la lame, les phénomènes optiques dans la lumière convergente deviennent peu nets, mais dans la lumière

parallèle, on voit le cristal formé, au centre, de secteurs de 60°, plus ou moins régulièrement juxtaposés. Ces secteurs s'éclairent légèrement dans certains azimuts; les azimuts d'extinction sont les mêmes pour les secteurs opposés, ils sont dans deux secteurs adjacents, à 60° les uns des autres. Cette partie centrale est entourée par des bandes parallèles aux côtés de l'hexagone et qui présentent un mélange confus des plages centrales. La *fig.* 54, Pl. III, peut donner une idée de cette disposition où l'on voit d'une part la nature orthorhombique du réseau, et de l'autre la tendance au mélange et à la confusion des réseaux formant l'assemblage.

Il faut remarquer que la dislocation des anneaux dans les plaques un peu épaisses est toute naturelle, puisque dans ces plaques, plusieurs réseaux d'orientation diverse se superposent le long d'une même normale.

Dans d'autres cristaux, le mélange des réseaux de l'assemblage est tellement intime que les apparences sont entièrement celles qui conviennent aux cristaux hexagonaux.

Émeraude.

L'émeraude présente des particularités fort analogues à celles que je viens de signaler dans l'apatite. La plupart des cristaux, même les plus limpides, présentent en plaques épaisses, et à la lumière parallèle, un aspect en quelque sorte marbré par des plages noires qui se fondent et se dégradent en passant à des plages éclairées. En changeant l'azimut de la plaque, les parties noires changent de place, mais l'aspect général reste le même. Il arrive souvent que les parties noires et éclairées forment des espèces de secteurs divergeant d'un même point, et se fondant les uns dans les autres. Lorsqu'on tourne la plaque entre les deux nicols croisés, les secteurs tournent en quelque sorte autour du point de convergence.

Dans la lumière convergente, on voit des anneaux extrê-

mement disloqués, ou plutôt on ne voit point d'anneaux, mais des lemniscates dont l'écartement des pôles et l'orientation des axes varient considérablement d'un point à l'autre.

Si l'on amincit ces plaques, les plages diversement éclairées prennent des contours de plus en plus nets, et toujours très-nettement hexagonaux. Malheureusement on ne peut pas amincir les plaques autant qu'il serait désirable, parce que la biréfringence est peu considérable et disparaît presque entièrement lorsque l'épaisseur de la lame arrive au-dessous de 1/10 de millimètre.

Un cristal de béryl de Sibérie, presque incolore et d'une parfaite limpidité, a présenté perpendiculairement à l'axe des lames montrant (Pl. III, *fig.* 55) une partie centrale, entourée d'une bordure hexagonale formée par de nombreuses bandes étroites et parallèles aux côtés de l'hexagone. Ces bandes s'éteignent presque complétement, lorsque le plan de polarisation est perpendiculaire à leur direction. La partie centrale montre des secteurs irréguliers ne s'éteignant jamais tous ensemble et se fondant l'un dans l'autre. On distingue encore cependant des lignes de séparation nettes parallèles aux côtés de l'hexagone.

Une lame taillée parallèlement à l'axe montre, dans la partie correspondant à la coupe de la bordure, des bandes très-étroites, de couleurs variées, rigoureusement parallèles à l'axe, et s'éteignant suivant cette direction. La coupe de la partie centrale montre des plages de couleurs ou plutôt de nuances peu différentes entre elles et se fondant l'une dans l'autre. Tout s'éteint encore lorsque le plan de polarisation est dirigé suivant l'axe.

Les autres cristaux d'émeraude que j'ai observés présentent tous des phénomènes analogues qui sont, comme on le voit, la répétition de ceux que j'ai signalés dans l'apatite, et indiquent la nature orthorombique du réseau, avec une forte tendance au mélange des réseaux orientés

différemment. Cette tendance est plus accentuée au centre du cristal que sur les bords.

Dans quelques cristaux, assez rares d'ailleurs, la tendance au mélange est telle que le cristal paraît rigoureusement uniaxe.

Tourmaline.

La tourmaline présente des phénomènes très-analogues à ceux que j'ai observés dans l'émeraude et l'apatite.

Dans la coupe transversale, on voit ordinairement les cristaux formés plus ou moins nettement de trois secteurs triangulaires. On distingue encore généralement une bordure formée de bandes parallèles plus ou moins longues, et une partie centrale avec un mélange de secteurs se fondant les uns dans les autres.

La coupe suivant l'axe montre, comme dans l'émeraude, des bandes parallèles et diversement colorées, dans la partie qui correspond à la coupe de la bordure. A l'extrémité du cristal terminée par un pointement, les bandes suivent le contour du cristal et se montrent parallèles aux faces de pointement.

La tourmaline est donc formée, comme l'émeraude, par un réseau orthorhombique voisin de 120°, mais avec cette particularité que le réseau est hémiédrique.

Corindon.

Les cristaux de corindon présentent les mêmes particularités que ceux d'émeraude et de tourmaline. On trouve quelques-uns de ces cristaux montrant une disposition en secteurs de 60°, dans chacun desquels la lumière convergente développe des lemniscates très-nettes dont les axes sont perpendiculaires aux apothèmes. Dans d'autres cristaux on distingue une partie centrale où les réseaux sont plus ou moins irrégulièrement mêlés, et une bordure à bandes parallèles, dont une grande partie ne s'éteint que

lorsque le plan de polarisation est perpendiculaire ou parallèle à la direction de la bande. Ces bandes sont souvent assez larges pour qu'on puisse y distinguer des lemniscates très-bien marquées.

Le corindon possède donc, comme les substances précédentes, un réseau orthorhombique voisin de 120°.

Pennine et clinochlore.

Les minéralogistes ont été conduits, par l'étude des formes cristallines, à séparer le groupe des chlorites en trois espèces différentes : la pennine, rhomboédrique; le clinochlore clinorhombique avec un angle plan de la base de 120°; enfin la ripidolite, dont le système cristallin est indéterminé, et qui se présente ordinairement en tables hexagonales biselées par des faces arrondies.

Certaines variétés de pennine sont optiquement négatives; d'autres, comme la kämmerérite, sont positives. La double réfraction est très-faible, et les anneaux observés à la lumière convergente sont toujours plus ou moins disloqués. Quant au clinochlore, la bissectrice aiguë positive fait un angle de 12 à 13° avec une normale à la base; l'écartement des axes est excessivement variable sur des échantillons de localités différentes, et même sur des échantillons de la même localité.

M. Des Cloizeaux rapporte le clinochlore à un prisme clinorhombique dont la base de 120° est inclinée sur h^1 de 62° 51′. Cette grande obliquité rompt évidemment les analogies du clinochlore et de la pennine. Il est préférable de prendre pour prisme primitif un prisme clinorhombique, dont la base de 120° est inclinée de 0°,17′ sur h^1. En prenant pour longueur d'axes :

$$1 : \sqrt{3} : 2,215.$$

La face notée m par M. Des Cloizeaux prend la notation d^1 $(11\bar{2})$

— $b^{\frac{1}{2}}$ — — $b^{\frac{1}{2}}$ (221)

Les notations sont à peu près aussi simples, et la forme primitive du clinochlore devenant extrêmement voisine de celle d'un prisme hémièdre orthorhombique de 120°, on s'explique très-bien pourquoi la pennine rhomboédrique et le clinochlore sont enchevêtrés l'un dans l'autre. M. Des Cloizeaux signale en effet des cristaux du Texas qui contiennent un noyau hexagonal de pennine entourée de clinochlore. La *fig.* 56, Pl. III, qui donne une idée de l'apparence que présentent à la lumière polarisée parallèle les lames de clinochlore associées au grenat almandin et au diopside d'Ala, rend un compte très-exact de cette curieuse disposition. On voit au centre un noyau hexagonal entouré de bandes parallèles aux côtés de l'hexagone. Ces bandes sont très-nettement clinorhombiques et s'éteignent à peu près complétement, lorsque le plan de polarisation est perpendiculaire à la bande. Chaque bande est d'ailleurs loin d'être homogène, et l'écartement des axes optiques est variable d'un point à l'autre d'une même bande, et plus encore d'une bande à l'autre. Quant au noyau hexagonal, il s'éclaire à peine, et ne montre que des anneaux peu disloqués.

On reconnaît donc ici la même architecture que celle des cristaux de corindon, de tourmaline ou d'émeraude, et la même explication vaut pour toutes ces substances.

Cette architecture est d'ailleurs de tous points analogue à celle des cristaux d'apophyllite, à cela près que ces derniers dérivent d'un prisme clinorhombique de 90°, et les cristaux de clinochlore d'un prisme clinorhombique de 120°. Il n'est donc pas étonnant que la chlorite, comme l'apophyllite, présente des variétés uniaxes positives ou négatives dérivant d'un même réseau biaxe négatif.

La conséquence à tirer de cette courte discussion, c'est que la chlorite ne constitue réellement qu'une seule espèce à forme clinorhombique limite de 120°, d'où se dérivent de nombreuses variétés par le polymorphisme ordinaire

aux cristaux à forme-limite. Cette conclusion est entièrement conforme aux observations chimiques, car la composition de la pennine, du clinochlore et de la ripidolite paraît être exactement la même. Si l'on veut être logique, il faut donc renoncer à séparer le groupe des chlorites en espèces distinctes, ou bien il faut diviser en espèces distinctes non-seulement le groupe des chlorites, mais encore celui des émeraudes, des tourmalines, de l'apophyllite, etc. Le choix, entre ces deux alternatives, ne saurait être un instant douteux.

D. — Substances pseudo-orthorhombiques.

Le nombre de ces substances est considérable, et les belles recherches M. Des Cloizeaux ont montré qu'un grand nombre de cristaux regardés autrefois comme orthorhombiques doivent être considérés comme clinorhombiques à cause de leurs propriétés optiques. Beaucoup de ces cristaux sont d'ailleurs formés par des assemblages de réseaux clinorhombiques. Je citerai entre autres l'harmotome et un certain nombre de zéolites.

Harmotome.

M. Des Cloizeaux a étudié avec soin les assemblages de l'harmotome, et je crois utile de signaler ici ses observations qui rentrent naturellement dans mon sujet.

M. Des Cloizeaux prend pour forme primitive de l'harmotome un prisme clinorhombique de 120°, très-oblique. Cette forme rompt sans avantage toutes les analogies, et il est nécessaire de lui en substituer une autre dans laquelle la face a^1 (Des Cl.) devient la face p ; la face p (Des Cl.) devient h^1, la face g^1 restant la même. Les données cristallographiques de l'harmotome deviennent alors :

$$ph^1 = 90°; \quad a : b : c = 826{,}5 : 818{,}02 : 575{,}19.$$

La face m (Des Cl.)	devient	$b^{\frac{1}{2}}$ $(11\bar{1})$
— h^1	—	a^1 $(10\bar{1})$
— p	—	h^1 (100)
— g^1	—	g^1 (010)
— a^1	—	p (001)
— o^1	—	$d^{\frac{1}{2}}$ $(20\bar{1})$

On peut aller plus loin en remarquant que

$$\frac{818,02}{576,19} = 1,422,$$

c'est-à-dire égal à $\sqrt{2}$ ou 1,414 à 0,008 près. Les axes du prisme orthorhombique sont donc à très-peu près :

$$\sqrt{2} : \sqrt{2} : 1,$$

c'est-à-dire qu'ils ont respectivement les longueurs de deux axes binaires et d'un axe quaternaire d'un réseau cubique. Le réseau cristallin de l'harmotome est donc à très-peu près cubique, et cette remarque rend un compte très-précis de la forme des cristaux et de leurs assemblages complexes.

Les cristaux de la variété dite *morvénite* et ceux qui proviennent d'Oberstein sont formés de quatre cristaux clinorhombiques. Ces quatre cristaux figurent les positions d'un réseau qui a tourné d'abord de 180° autour de l'axe pseudo-quaternaire parallèle à l'intersection g^1h^1; puis de 180° autour de l'axe pseudo-binaire perpendiculaire à g^1. Les faces h^1, g^1, $d^{\frac{1}{2}}$ sont celles d'un pseudo-dodécaèdre rhomboïdal, la face o^1 celle d'un pseudo-leucitoèdre.

Ces quatre cristaux sont disposés les uns par rapport aux autres comme les quatre cristaux qui sont assemblés dans le grenat topazolite autour d'une perpendiculaire à une face du dodécaèdre rhomboïdal. Les stries parallèles aux intersections $g^1 d^{\frac{1}{2}}$ sont disposées comme celles que

l'on trouve aussi dans le topazolite et s'expliquent de la même façon.

Selon la remarque de M. Des Cloizeaux, « les limites « entre les quatre cristaux sont rarement aussi nettes que « l'indique la figure (*fig.* 57 et 58, Pl. III); ils empiètent « souvent les uns sur les autres et leur contact se fait « verticalement suivant des surfaces assez inégales dont « le second a lieu par de petits remplissages irréguliers. » Ce sont précisément les phénomènes qui se rencontrent presque toujours dans les assemblages, et qui les distinguent des mâcles proprement dites.

Quant aux cristaux d'Andreasberg, ils sont composés de deux cristaux semblables à celui que je viens de décrire, dont l'un a tourné de 90° par rapport à l'autre autour de l'axe pseudo-quaternaire.

On voit que le type cristallin de l'harmotome est extrêmement voisin de celui de la christianite (Phillipsite Lévy) et de celui de l'analcime. Ce type est le type commun de la plupart des zéolites, sinon de toutes, comme j'essayerai de le montrer dans un travail spécial. Ces silicates hydratés qui ont, comme l'a démontré M. Charles Deville, la composition des feldspaths à laquelle l'eau est venue s'ajouter, présentent dans leur cristallisation des analogies presque aussi étroites que celles qui existent entre les cristaux des divers membres de la famille feldspathique.

Topaze.

La topaze présente une organisation intérieure qui rappelle celle de l'émeraude. Brewster a depuis longtemps remarqué, non-seulement que les axes optiques ne sont pas écartés de la même quantité en tous les points d'un même échantillon, mais encore que, lorsqu'on observe une lame cristalline perpendiculaire à l'axe vertical, dans la lumière polarisée parallèle, elle montre une marqueterie

plus ou moins complexe. La *fig.* 59, Pl. III, qui représente une plaque très-mince de topaze du Brésil, vue à la lumière polarisée, le plan de polarisation étant très-voisin du plan vertical passant par la grande diagonale, donnera une idée de cette marqueterie.

On distingue, comme dans l'émeraude, une partie centrale très-complexe elle-même, entourée de quatre bandes parallèles aux côtés du rhombe. La partie centrale ne s'éteint pas tout entière suivant le même azimut, mais la direction d'extinction ne varie, pour les différentes plages, que de quelques degrés autour de celle des diagonales. Quant aux bandes-enveloppes, celles qui sont parallèles au même côté du rhombe s'éteignent en même temps suivant une droite beaucoup plus oblique sur la diagonale.

La *fig.* 60, Pl. III, montre une autre plaque de topaze dans laquelle la partie centrale comprend deux cristaux *mm* et *nn* se pénétrant à angle droit et se juxtaposant suivant des droites à peu près parallèles aux diagonales. La direction d'extinction de *mm* fait avec la petite diagonale un angle de 3° compté dans le sens des aiguilles d'une montre ; la direction d'extinction de *nn* fait avec la même diagonale un angle de 3° compté dans le sens inverse.

La direction d'extinction des bandes *pp* fait avec la petite diagonale un angle de 16° dans le sens rétrograde, et celle de la bande *q* un angle de 16° dans le sens direct.

On retrouve donc ici les phénomènes bien connus produits par un réseau clinorhombique presque orthorhombique, qui peut se placer dans deux positions différentes, pour lesquelles le plan des axes optiques est symétriquement disposé par rapport aux diagonales. Les plages différentes ainsi obtenues se fondent assez intimement dans les parties centrales du cristal pour donner l'apparence d'un cristal orthorhombique, mais elles s'isolent beaucoup plus dans l'enveloppe, où la nature clinorhombique du réseau s'accuse davantage.

E. — Substances pseudo-clinorhombiques.

Orthose et microcline.

Les réseaux anorthiques, lorsque leur symétrie se rapproche de celle des réseaux clinorhombiques, peuvent donner lieu à des assemblages cristallins conduisant à des substances d'apparence clinorhombique. Les feldspaths appartiennent à ce groupe, et tous les cristallographes sont d'accord pour considérer l'albite anorthique comme ayant une forme très-voisine de celle de l'orthose clinorhombique.

Tout récemment M. Des Cloizeaux, en étudiant à la lumière polarisée des plaques minces découpées dans des cristaux d'orthose, a montré que la plupart de ceux-ci ne sont point homogènes, et contiennent en général deux réseaux intimement mélangés, l'un orthorhombique, celui de l'orthose, l'autre triclinique, celui du microcline. Les deux réseaux ont des formes extrêmement voisines comme il résulte de la comparaison suivante :

	Amazonite (Microcline).	Orthose.
mg^1 sur t	60° 58′	59° 24′
pg^1 à droite	90° 16′	90°
pm antér.	111° 38′	112° 16′

Les angles sont un peu variables d'un échantillon à l'autre, car sur un microcline blanc d'Éverett, M. Des Cloizeaux a trouvé

mg^1 sur t	60° 49′
pm antér.	111° 17′

Les deux réseaux mélangés figurent le plus souvent sur une lame basique, une sorte de quadrillage dû à l'entrecroisement de nombreuses bandelettes plus ou moins

étroites, les unes parallèles, les autres à peu près perpendiculaires au clivages g^1.

Cette description dont j'emprunte presque tous les termes au mémoire de M. Des Cloizeaux, rappelle les phénomènes que l'on a si souvent rencontrés, et que manifestent, par exemple, certaines variétés de grenat, la plupart des cristaux de fluorine, les plages uniaxes de l'apophyllite, etc. Ces phénomènes s'expliquent aisément en admettant que le réseau du feldspath à base de potasse est triclinique, comme celui du feldspath à base de soude, dont il ne diffère que par de légères variations dans les angles fondamentaux, et que l'orthose clinorhombique dérive de ce réseau triclinique à forme-limite, grâce aux assemblages dont il est susceptible.

Il est aisé de voir, en effet, que les échantillons les plus purs d'orthose présentent des traces du réseau triclinique fondamental. J'ai découpé dans de petits cristaux limpides d'adulaire de Saint-Gothard, des lames perpendiculaires à l'arête *mm*. Ces lames minces, vues à la lumière polarisée, présentent un aspect dont la *fig.* 61, Pl. III, peut donner une idée.

Le rhombe montre vers les angles aigus quatre secteurs *a*, *b*, *a'*, *b'*, limités par des parallèles aux diagonales et à peu près homogènes. Les deux secteurs *a* et *a'*, opposés par le centre, s'éteignent presque en même temps, et il en est de même des secteurs *b*, *b'*.

Les secteurs *a*, *a'* s'éteignent suivant une direction qui fait avec la petite diagonale du rhombe un angle de 2 à 3° dans le sens rétrograde; les secteurs *b*, *b'* s'éteignent suivant une droite faisant, avec la même diagonale, le même angle dans le sens direct.

La partie médiane de la lame fait voir une sorte de quadrillage, formé par des bandelettes parallèles aux deux diagonales du rhombe. Ces bandelettes, qui se fondent d'ailleurs les unes dans les autres, s'éteignent suivant des

directions très-voisines de celles de la petite diagonale du rhombe. et on ne parvient à les distinguer qu'en tournant avec précaution la lame sur le porte objet du microscope, de part et d'autre de l'azimut qui correspond au parallélisme du plan de polarisation du polariseur et de la petite diagonale. Les cristaux d'adulaire du Saint-Gothard présentent donc un véritable passage du microcline à l'orthose théoriquement homogène.

Ce sont ces passages qui ne permettent pas, à mon avis, de séparer en deux espèces différentes le microcline et l'orthose. Si l'on voulait faire une semblable séparation, on serait nécessairement obligé de la faire aussi pour le grenat, pour l'apophyllite, et en général pour toutes les substances que j'ai étudiées dans ce mémoire. Ce serait rendre la science inextricable, car les espèces ainsi distinguées étant toujours mélangées, ne pourraient se distinguer les unes des autres que par un examen optique délicat.

M. Des Cloizeaux a remarqué que l'albite pouvait se mélanger à l'orthose et au microcline. Un semblable mélange n'a rien que de conforme aux principes, puisque l'albite et le microcline ont des formes très-voisines. Ce mélange, qu'il vaudrait mieux appeler une inclusion, se fait d'ailleurs suivant les règles que j'ai établies pour les assemblages cristallins. Ces inclusions d'albite, qui forment des espèces de filons, sont des bandes hémitropes dont l'axe pseudobinaire est parallèle à l'axe binaire de l'orthose.

Je terminerai par une remarque qui rentre naturellement dans mon sujet. Le plus grand nombre des cristaux d'orthose présentent une hémitropie singulière qui se fait, non par une rotation de 180° autour d'une normale à une face (ce qui est le seul cas régulier de l'hémitropie), mais par une rotation de 180° autour de l'arête verticale *h*. Les deux moitiés du cristal, au lieu d'être séparées par une surface plane, se pénètrent au contraire irrégulièrement et d'une manière plus ou moins intime.

Cette particularité semble indiquer que la prétendue hémitropie n'est qu'un assemblage, et, pour l'expliquer, on est amené à penser que, dans le réseau de l'orthose, la hauteur est un axe quasi-binaire. Or c'est en effet ce dont il est aisé de se convaincre.

Projetons le réseau de l'orthose sur son plan de symétrie. En partant des données admises par M. Des Cloizeaux, la maille plane est dans ce plan, un parallélogramme dont les côtés $h = 464$ et $a = 550$ comprennent entre eux un angle égal à $116^\circ\ 7'$. On voit alors que la plus courte diagonale de cette maille est égale à 541,5, c'est-à-dire presque égale à a. Il en résulte qu'on peut prendre pour maille plane un autre parallélogramme qui sera presque un rhombe, et qui aura pour diagonales la hauteur h d'une part, et de l'autre une droite presque normale à cette hauteur, puisqu'elle est inclinée sur elle de $90^\circ\ 44'$. Ces deux diagonales sont donc presque des axes binaires du réseau plan compris dans le plan de symétrie, et par suite aussi presque des axes binaires du réseau de l'espace qui se trouve ainsi quasi-orthorhombique.

IV. — Résumé et conclusions.

Des observations que j'ai rapportées dans la troisième partie de ce travail, il me semble impossible de ne pas conclure que les anomalies optiques des substances étudiées sont dues à ce que les cristaux de ces substances ne sont point, comme la théorie le suppose, formés par un réseau unique limité par des plans réticulaires déterminés. L'analogie porte naturellement à admettre que partout où les mêmes anomalies optiques ont été signalées, elles sont dues à la même cause, ce qui permet d'étendre con-

sidérablement la liste des corps dont les cristaux sont des assemblages cristallins.

Ces conclusions paraissent devoir modifier les idées que l'on a été conduit à se faire sur la constitution intérieure des cristaux.

En partant de cette donnée expérimentale des plus simples, que tout fragment d'un corps, quelque petit qu'il soit au point de vue physique, jouit des mêmes propriétés en quelque point du corps qu'il soit enlevé, c'est-à-dire en partant de la notion de l'homogénéité, on démontre sans peine que la constitution intérieure d'un corps cristallisé est telle qu'on peut y distinguer un nombre extrêmement grand de points analogues, c'est-à-dire jouissant exactement des mêmes propriétés physiques, et autour de chacun desquels la matière se trouve répartie de la même façon. On démontre encore que tous les points analogues entre eux occupent les nœuds d'un réseau à maille parallélipipédique.

Or cette loi qui, à la différence du langage près, est celle qu'avait énoncée Haüy, se trouve, lorsqu'on l'applique aux nombreuses substances à forme-limite, non point fausse, mais incomplète. Dans les cristaux de ces substances, la véritable homogénéité n'existe plus; la nature y déroge à la régularité de l'édifice cristallin, et cette dérogation a pour résultat, sinon pour but, de rendre l'édifice plus voisin de la symétrie-limite, que n'en est le réseau lui-même.

J'ai déjà expliqué l'artifice au moyen duquel la nature résout le problème, qu'elle semble se poser, de construire un édifice symétrique avec des matériaux qui ne le sont pas, ou plus exactement, un édifice plus symétrique que les matériaux qui le composent. Il ne sera peut-être pas inutile de revenir ici sur cette explication en empruntant le langage et les images de la théorie d'Haüy.

Imaginons donc avec Haüy l'édifice cristallin formé par une infinité de petites pierres de taille parallélipipé-

diques toutes égales entre elles. L'empilement régulier, ne laissant aucun vide entre les matériaux, ne peut se faire que d'une seule façon, et l'édifice possède alors exactement la même symétrie que le parallélipipède. C'est le cas théorique.

Supposons maintenant que le petit parallélipipède ait une forme-limite, qu'il soit par exemple à peu près cubique sans l'être tout à fait; on peut le tourner de douze façons différentes en plaçant successivement chacune des douze arêtes parallèles à une même direction, et dans ces douze positions, les petits cuboïdes ne se superposent à eux-mêmes qu'à peu près. Théoriquement ils ne peuvent donc pas entrer, sans que leur orientation soit modifiée, dans un empilement cristallin régulier.

Mais ces petits cuboïdes ont, les uns par rapport aux autres, les mêmes relations que celles qui existent entre les petits parallélipipèdes qui servent de molécules intégrantes à des substances isomorphes. Or l'expérience nous apprend que, bien que ces parallélipipèdes ne soient pas exactement, mais à peu près seulement, superposables l'un à l'autre, la nature en tolère cependant la présence simultanée dans le même édifice cristallin. Quelles que soient les raisons de cette tolérance, elles s'appliqueront à nos douze petits cuboïdes, qui, sans changer d'orientation, et en restant, par conséquent, distincts les uns des autres, peuvent se rencontrer dans le même cristal. Nous pouvons donc trouver des édifices cristallins formés d'une substance chimique unique, mais dans lesquels les matériaux qui ont servi à les élever, au lieu d'être d'une seule nature, comm dans le cas théorique, seront de douze natures différente

La manière dont les matériaux multiples d'un semblable édifice seront groupés ne peut être prévue *a priori*, et présente souvent de grandes différences dans les cristaux d'une même substance. C'est ainsi, en continuant à nous servir de l'exemple choisi, que chacun des douze cuboïdes

de tout à l'heure pourra former régulièrement un cristal séparé, les douze cristaux ainsi obtenus s'emboîtant ensuite l'un dans l'autre, plus ou moins régulièrement, de manière à figurer extérieurement un cristal unique.

On peut ensuite supposer un mélange de ces douze portions de même cristal, et l'on conçoit tous les passages et toutes les transitions imaginables depuis l'isolement presque complet de ces douze portions différentes jusqu'à leur mélange absolument intime. Comme nous l'avons montré par de nombreux exemples, les observations sur des lames minces permettent, dans beaucoup de cas, de constater et de suivre, en quelque sorte pas à pas, ces mélanges de plus en plus intimes. Lorsque le mélange est complet, lorsqu'il n'existe plus une *particule*, c'est-à-dire une portion finie du cristal, si petite qu'elle soit, qui ne renferme les douze matériaux différents qui entrent dans la construction de l'édifice, une homogénéité d'une nature spéciale a reparu dans le cristal, et les observations optiques deviennent impuissantes à constater la combinaison qui se produit dans l'étendue de chaque particule. Le corps paraît donc homogène, mais la véritable homogénéité et la loi réticulaire qu'on en déduit ne s'appliquent plus qu'aux *particules*, c'est-à-dire aux éléments très-petits du corps cristallisé : elles sont devenues des *lois élémentaires*.

Non-seulement je crois avoir montré que cette théorie trouve dans l'observation la plus entière confirmation, mais j'ai fait voir, en outre, qu'elle donne l'explication d'un grand nombre de phénomènes.

C'est ainsi que l'orthose et l'harmotome, les carbonates de la série barytique et un très-grand nombre d'autres substances montrent des groupements de cristaux qui ne rentrent pas dans la loi ordinaire de l'hémitropie et s'expliquent très-aisément par des assemblages de cristaux à forme-limite.

Les phénomènes que M. Scacchi a désignés sous le nom

de *polysymétrie*, c'est-à-dire les variations, souvent considérables qui se remarquent dans les angles des faces de certains cristaux à forme-limite, comme la brookite, sont une conséquence nécessaire des variations qui peuvent se produire, d'un cristal à l'autre, dans l'arrangement et la proportion relative des matériaux multiples qui entrent dans la construction de l'édifice cristallin. Les cristaux isomorphes présentent, par une raison analogue, des variations angulaires de même nature.

La *polyédrie* de M. Scacchi, c'est-à-dire l'existence, sur de nombreux cristaux de faces en quelque sorte surnuméraires et de symbole complexe, figurant des pyramides ou des biseaux très-surbaissés, ne s'explique pas moins heureusement. Ces faces singulières et anomales sont celles que tend naturellement à faire naître la véritable forme primitive de la substance. Elles se présentent dans tous les cristaux où chacune des différentes orientations de cette forme primitive, c'est-à-dire chacun des matériaux multiples de l'édifice cristallin, constitue une portion étendue de l'édifice cristallin qui se prolonge jusqu'à la surface. Ces faces deviennent de plus en plus étroites, de moins en moins observables, et tendent ainsi graduellement à disparaître à mesure que la combinaison des matériaux de l'édifice devient plus intime et que celui-ci se rapproche par conséquent de la symétrie-limite (*).

(*) Pendant l'impression de ce travail, j'ai eu connaissance d'un mémoire de M. le professeur Hirschwald publié dans les *Minér. Mitt.* de Tschermack et d'une discussion engagée, à l'occasion de ce mémoire, entre l'auteur et M. Vom Rath, dans le *N. Jahrbuch für Min.* M. le professeur Hirschwald, tout en constatant que l'amphigène et plusieurs autres substances appartenant en apparence au système cubique ne présentent, ni dans les angles, ni dans les propriétés optiques, les caractères propres à ce système, émet l'opinion qu'on doit néanmoins les regarder comme réellement cubiques. Les anomalies ne sont, à ses yeux, que des irrégularités dues à des phénomènes de polyédrie et de polysymétrie. Cette explication, si c'en est bien réellement une, montre seule-

Tous ces phénomènes de polysymétrie et de polyédrie accusent d'ailleurs, dans les substances qui les présentent, un véritable *polymorphisme*. Chaque individu cristallin d'une même substance possède en effet une organisation intérieure qui lui est propre, et qui se traduit à l'extérieur par un certain polyèdre. Si, comme on le fait ordinairement dans les recherches cristallographiques, on suppose ce polyèdre dérivé par les lois habituelles, d'un réseau unique, on sera conduit à attribuer à ce réseau une maille parallélipipédique qui sera une sorte de moyenne entre celles de tous les réseaux composants. La maille de ce réseau fictif, c'est-à-dire la forme primitive théorique variera donc, pour une même substance, d'un individu à l'autre. Nous pourrons donc dire, en ce sens, que toutes les substances à forme-limite sont polymorphes.

A travers tous ces changements de forme, la substance conserve ses propriétés essentielles. Il se produit cependant dans les propriétés physiques quelques modifications qu'il faut noter. C'est ainsi qu'on constate dans la *densité* des

---

ment que l'auteur a soupçonné le lien qui existe entre les phénomènes anomaux des cristaux pseudo-cubiques et ceux des cristaux dans lesquels on observe la polyédrie et la polysymétrie. La nature de ce lien lui est restée ignorée.

Quant à la supposition qu'un corps peut appartenir au système cubique et être en même temps biréfringent, elle aboutit à une question de mots. La supposition est exacte, si l'on range dans le système cubique toutes les substances dont les polyèdres cristallins présentent *à peu près* la symétrie ternaire autour des quatre diagonales du cube. Mais la supposition de M. Hirschwald est contradictoire dans les termes si l'on n'admet dans le système cubique que les substances dont la constitution physique intérieure présente une symétrie ternaire parfaite autour des quatre diagonales du cube. Cette dernière définition est celle qui est toujours sous-entendue dans les traités de physique et de cristallographie. C'est celle, en effet, qui doit rester la véritable définition théorique. Autrement on serait conduit à considérer la symétrie de la constitution intérieure d'un corps comme différente, suivant le procédé d'expérimentation qu'on emploierait pour l'étudier.

changements souvent plus considérables que ceux qui devraient avoir lieu s'il n'y avait qu'une simple variation dans l'arrangement interne des *particules*. Les différentes particules qui se groupent ensemble, ayant des formes très-voisines, laissent des vides entre elles, mais des vides très-petits et qui ne peuvent faire varier la densité que de quantités très-petites. Or c'est ce qui n'a pas toujours lieu. La densité de l'acide titanique cristallin peut varier de 3,7 à 4,16, c'est-à-dire de plus de 1/10 de sa valeur. Bien plus, ce sont les variétés les plus symétriques qui sont en même temps les plus denses, tandis que le contraire devrait se produire. Il faut donc nécessairement admettre que le phénomène est plus complexe encore que nous ne l'avons supposé; que la variation dans l'arrangement des particules est accompagnée d'un autre phénomène inconnu, mais qui ne peut être qu'une variation dans la particule elle-même.

On devait s'attendre d'ailleurs à rencontrer un fait semblable, car il se présente dans les mélanges de corps isomorphes. En voici des exemples :

Aragonite. $CaOCO^2$. Densité 2,93 à 2.947 }
Whitérite. $BaOCO^2$. Id. 4.2 à 4.3 } Moyenne = 3,56 à 3,625.
Alstonite.. $BaOCO^2 - CaOCo^2$. Densité 3.70 à 3.71.
Calcite. . $CaOCO^2$. . Densité 2.70 à 2.73 }
Sidérose. $FeOCO^2$. . Id. 3.83 à 3.88 } $\frac{2 \times 2.73 + 3.88}{3} = 3.11$.
Mésitine. $2CaOCO^2 + FeOCO^2$. Densité 3.33.

Puisque les phénomènes relatifs à la densité nous montrent que les réseaux différents ne peuvent se combiner dans les cristaux à forme-limite qu'en subissant certaines altérations, les propriétés optiques de l'assemblage ne seront pas celles que l'on observerait, si les réseaux se combinaient sans s'altérer. Comme cette conséquence est fort intéressante, j'ai cru nécessaire de la vérifier aussi rigoureusement que possible. J'ai, dans ce but, tiré de la théorie générale de la double réfraction des formules permettant de calculer les propriétés optiques que montreraient les

cristaux, s'ils étaient formés par une combinaison intime, sans altération mutuelle, d'un certain nombre de réseaux. On pourra voir, dans une note placée à la fin de ce mémoire, la manière dont ces formules peuvent être obtenues. Il serait curieux de les appliquer aux mélanges de corps isomorphes; malheureusement les données rigoureuses sur les constantes optiques des corps cristallisés ne sont pas assez nombreuses pour permettre une semblable application. Mais on déduit aisément de ces formules qu'un même réseau à forme-limite ne peut donner, par une simple combinaison sans altération, tantôt des cristaux optiquement positifs, tantôt des cristaux optiquement négatifs. C'est cependant le cas qui se présente pour l'apophyllite et la chlorite.

Il faut remarquer au reste que ces altérations qui accompagnent nécessairement la présence, dans un même cristal, de matériaux non absolument identiques, ne sont qu'un phénomène secondaire, et en quelque sorte de l'ordre des perturbations. Nous voyons en effet que, dans les mélanges isomorphes, la moyenne de la densité des corps composants donne une première valeur, très-approchée, de la densité du mélange. Il en est de même pour les propriétés optiques. Celles du mélange peuvent se déduire à peu près de celles des réseaux composants. Lorsqu'un même réseau donne tantôt des assemblages positifs, tantôt des assemblages négatifs, c'est que les trois axes d'élasticité optique propres au réseau sont très-près d'être égaux, et que des variations même très-faibles peuvent ainsi changer considérablement l'ordre de leurs grandeurs respectives.

L'assemblage intérieur si complexe des cristaux à forme-limite paraît fort peu stable. L'action de la chaleur le modifie profondément dans un très-grand nombre de cas, tantôt d'une manière permanente, tantôt d'une manière seulement temporaire. C'est sans doute parce qu'elle exerce des actions de ce genre, qu'elle est capable de pro-

duire, dans certains cristaux, des modifications optiques considérables, et qui paraissent tout d'abord bien peu en rapport avec les modifications si faibles que la chaleur fait ordinairement subir aux constantes optiques des corps solides.

Lorsque le polymorphisme peut être suivi, en quelque sorte, pas à pas, comme on le fait dans le grenat, l'apophyllite ou la chlorite: lorsqu'on peut observer les transitions insensibles qui relient entre elles les formes multiples d'une même substance, la cause que j'attribue au polymorphisme me paraît difficilement contestable. Mais il est un grand nombre de corps polymorphes dans lesquels on n'a pas jusqu'ici signalé ces transitions caractéristiques, et il faut examiner si nous avons des raisons sérieuses d'étendre à leur polymorphisme la même explication.

On sait que le nombre des substances dimorphes s'est, depuis Mitscherlich, considérablement accru; qu'il s'accroît chaque jour davantage, à tel point qu'il semble qu'on puisse prévoir l'instant où les substances monomorphes seront une exception. On a beaucoup discuté sur les causes de ce dimorphisme, et les savants ne sont pas beaucoup plus d'accord sur ce point qu'au lendemain de la découverte de Mitscherlich. Les uns, comme M. Delafosse, attribuent le dimorphisme, avec Haüy et Dufrénoy, à une véritable isomérie, c'est-à-dire à un changement dans la molécule; les autres, avec Mitscherlich lui-même, n'y voient qu'une modification dans les positions d'équilibre des molécules, entraînant une modification dans la structure réticulaire du corps.

Quoi qu'il en soit de cette divergence persistante dans les vues théoriques des savants, un fait capital a été signalé depuis longtemps par La Provostaye, par M. Pasteur, etc., c'est que les deux formes primitives d'une substance dimorphe sont toujours voisines l'une de l'autre et sont toujours des formes-limites. C'est même à cette occasion

que le mot de *formes-limites* s'est introduit dans la science.

L'existence d'une semblable relation indique sans aucun doute que le phénomène du dimorphisme est dû à une cause générale qui est la même pour toutes les substances dimorphes. Mais on voit, en outre, que cette relation n'est autre que celle que l'on observerait si le dimorphisme était réellement produit par cette faculté de former des combinaisons multiples que possèdent les réseaux à forme-limite. Les choses se passent donc comme si le dimorphisme des substances cristallisées avait la même origine que le polymorphisme de l'apophyllite, du grenat, etc.

Je ne me dissimule pas qu'il répugne tout d'abord à l'esprit d'admettre qu'une substance aussi homogène que le spath d'Islande, par exemple, n'est qu'un agrégat complexe de petits cristaux croisés dans différents sens. Mais il s'en faut que, même pour le carbonate de chaux, l'homogénéité persiste dans toutes les variétés; il en est, et de très-nombreuses, qui présentent des anomalies optiques tout aussi prononcées que celles qui se présentent dans le grenat, l'apatite ou l'émeraude. L'homogénéité du spath d'Islande, d'ailleurs prévue par la théorie, n'est donc pas plus étonnante que celle que nous avons rencontrée dans diverses variétés de ces dernières substances, et l'objection qu'on en voudrait tirer me paraît sans valeur.

Cependant la conclusion à laquelle je me trouve amené me paraît d'une telle importance qu'il me semble nécessaire de résumer en quelques lignes l'enchaînement logique qui la rend inévitable.

J'ai déduit des lois de l'isomorphisme la nécessité pour un réseau à forme-limite de présenter, dans un même cristal, des croisements dans des sens différents, et j'ai fait connaître les conditions théoriques de ces croisements; j'ai ensuite, par des observations précises, montré que ces croisements se produisent effectivement dans un grand nombre de substances et que les lois auxquelles ils sont

soumis sont bien celles qu'indiquait la théorie. Or, les substances polymorphes ont, ainsi que cela est connu depuis longtemps, des formes-limites; elles doivent donc présenter les phénomènes qui d'après la théorie sont une conséquence de cette nature particulière de la forme primitive. Mais au nombre de ces phénomènes se trouve précisément le polymorphisme; on ne saurait donc douter, il me semble, que le polymorphisme des substances en question ne soit réellement dû à la symétrie-limite de la forme primitive et aux conséquences qu'elle entraîne.

Je crois donc pouvoir, sans témérité et sans m'exposer au reproche d'une généralisation trop hâtive, avancer que l'un des résultats de mon travail, et à coup sûr l'un des plus intéressants, est de montrer que les substances qui présentent le polymorphisme ne le doivent qu'à des combinaisons multiples d'un seul et même réseau cristallin. *Une même substance chimique possède donc toujours le même réseau cristallin* dont la structure se trouve être ainsi une des propriétés les plus essentielles de la matière.

C'est ainsi que la science se trouve ramenée, non sans lui avoir fait subir de profondes modifications, au principe formulé par Haüy, et que les découvertes de Mitscherlich n'avaient pas réussi à lui faire abandonner.

Sans insister davantage sur l'intérêt évident que cette conclusion présente relativement à nos idées sur la constitution intérieure de la matière, je puis formuler comme il suit les conséquences auxquelles m'ont conduit mes recherches:

Un grand nombre de faits qui paraissaient jusqu'ici sans aucun lien, à savoir, la production de groupements cristallins ne rentrant pas dans la définition de l'hémitropie régulière et semblables à ceux de l'aragonite; les phénomènes désignés par M. Scacchi, sous les noms de polysymétrie et de polyédrie; les anomalies optiques signalées par Brewster, étudiées par Biot, rencontrées dans un nombre considérable

de substances, et jusqu'ici inexpliquées ; enfin la propriété du polymorphisme, ne sont que les conséquences multiples d'un seul fait primordial, celui de l'isomorphisme, c'est-à-dire de la faculté que possèdent des molécules intégrantes, non point identiques, mais peu différentes les unes des autres, d'entrer dans la construction d'un même édifice cristallin.

Il est vrai que la difficulté ne se trouve ainsi que reculée, et que nous ignorons toujours pourquoi les molécules possèdent cette faculté de l'isomorphisme, et quel est l'artifice que la nature emploie pour la mettre en œuvre. Mais c'est le sort commun de toutes les explications scientifiques de se borner à nous apprendre, comme l'a dit un éloquent philosophe, à dériver l'ignorance de sa source la plus élevée.

Nos conclusions font naître encore un autre problème. Le nombre des substances qui montrent les phénomènes caractéristiques des réseaux à symétrie-limite est extrêmement considérable, et s'accroîtra certainement encore. Dès maintenant on peut dire qu'il y a bien peu de cristaux cubiques, s'il y en a, qui ne présentent des anomalies optiques du genre de celles que j'ai étudiées dans l'amphigène, le grenat, l'analcime, etc. ; il en est de même pour les cristaux hexagonaux, rhomboédriques ou quadratiques, etc. Il semble ainsi que l'on doive être conduit un jour à reconnaître que s'il n'y a pas de réseau cristallin possèdant rigoureusement un seul élément de symétrie, tous possèdent d'une manière approchée un ou plusieurs de ces éléments, tous ont une symétrie-limite.

Quoi qu'il en soit des découvertes que l'avenir nous réserve sur ce point, on peut se demander quelle est la raison qui donne aux réseaux cristallins une structure si singulière et si contraire à celle qu'on pouvait se figurer *a priori*. Les réponses que l'on pourrait faire à cette question seraient toutes aujourd'hui bien hypothétiques, et il serait sans utilité de les discuter ; mais il m'a paru néces-

saire de signaler le problème qui se pose aux recherches et aux méditations des cristallographes.

Il me sera plus aisé de montrer l'influence que les conclusions précédentes doivent exercer sur la définition de l'espèce dans les sciences inorganiques. Haüy n'admettait dans une même espèce que les corps qui joignent à l'identité de la composition chimique celle de la forme primitive. En laissant de côté la grave dérogation que la découverte de l'isomorphisme a apportée à cette règle, il me semble impossible de continuer à l'appliquer, sans changer au moins la manière dont on l'a fait jusqu'ici, car elle aboutit à compliquer la science sans nécessité, et à la rendre de plus en plus inextricable. A mesure que les observations optiques se perfectionnent et se développent, on est en effet conduit à diviser chaque espèce ancienne en une ou plusieurs autres, dont la composition chimique est identique, et qui diffèrent entre elles, non pas même toujours par des caractères cristallographiques, mais simplement par des caractères optiques; de sorte qu'avant de donner un nom à une substance, il devient nécessaire d'en faire tailler une ou plusieurs plaques minces et de les soumettre au microscope polarisant. Et après cet examen il se trouve le plus souvent que l'individu cristallin étudié est un mélange des espèces isomorphes que l'on se proposait de distinguer.

On a beau, au nom de la règle qu'on s'est posée, accepter ainsi des complications de jour en jour plus nombreuses, on ne peut cependant rester logique jusqu'au bout. Ainsi, malgré des différences optiques bien accusées, on ne divise pas l'apophyllite en plusieurs espèces distinctes, tandis qu'au nom de caractères optiques du même ordre, on introduit une semblable division dans l'épidote ou l'orthose. C'est qu'en effet, si l'on voulait aller logiquement jusqu'au bout du principe, on arriverait presque à élever chaque individu cristallin à la hauteur d'une espèce.

Je proposerais donc de continuer à adopter la définition d'Haüy (sous réserve des perturbations apportées par l'isomorphisme), mais avec cette importante restriction que la forme primitive serait, non plus la forme primitive apparente, qui n'est que le résultat de combinaisons cristallines particulières, mais la forme primitive du réseau. Il n'y aurait plus alors qu'une seule espèce d'épidote, d'orthose, de chlorite, d'acide titanique, de carbonate de chaux, etc. Chaque espèce comprendrait d'ailleurs un nombre plus ou moins grand de variétés, dues aux combinaisons multiples dont le réseau est susceptible, et l'étude des variétés pourrait avoir, dans certains cas, une importance très-grande.

Je crois en outre qu'il conviendrait, pour chaque espèce, de noter en même temps sa symétrie réelle et sa symétrie approchée. Ce ne serait rien apprendre du grenat que de dire que son réseau est anorthique; on définira, au contraire, d'une manière précise la plupart de ses propriétés cristallographiques et optiques en disant qu'il est anorthique et pseudo-cubique.

J'indiquerai enfin, en terminant, une autre conséquence indirecte, qui me semble intéressante. On vient de voir que les molécules intégrantes d'un corps à forme-limite, peuvent se croiser dans l'édifice cristallin, en prenant les unes par rapport aux autres un nombre déterminé d'orientations différentes. Or, par des croisements de lames de mica sous des angles de 120°, Reusch a reproduit les phénomènes de polarisation rotatoire. Ces curieux phénomènes, qui sont restés jusqu'à présent inexpliqués (car l'explication proposée par M. Briot paraît bien difficile à admettre), ne peuvent-ils point être dus simplement à des croisements de lames cristallines semblables à ceux que j'ai constatés dans un si grand nombre de substances minérales? La rotation du plan de polarisation rentrerait ainsi au nombre des anomalies optiques qu'en entre-

prenant ce travail, j'avais pour but principal d'expliquer. Cette conclusion était celle que Reusch avait tirée de ces expériences; mais il était difficile de l'admettre tant que les croisements de lames, que réclame l'hypothèse, paraissaient une supposition arbitraire et presque invraisemblable. Elle devient au contraire naturelle, lorsqu'on sait qu'un grand nombre de cristaux sont formés d'un entre-croisement de lames non moins complexe et non moins régulier que celui qui est supposé par Reusch.

Cependant il importe de savoir si l'entre-croisement de lames biaxes sous des angles de 120° rend bien compte de toutes les particularités du phénomène. Celui-ci consiste en effet, non-seulement en ce que le plan de polarisation tourne, mais en ce qu'il tourne proportionnellement à l'épaisseur du cristal, et à peu près en raison inverse du carré de la longueur d'ondulation.

Je démontre théoriquement, dans une note placée à la fin de ce mémoire, que des lames biaxes très-minces perpendiculaires à l'axe d'élasticité optique *minimum* ou *maximum*, et croisées sous des angles de 120°, réalisent en effet *toutes* les particularités des cristaux qui possèdent la polarisation rotatoire. La rotation du plan de polarisation se fait vers la droite lorsque les angles que font les sections des lames empilées les unes sur les autres en allant de bas en haut, sont comptés dans le sens rétrograde; la rotation se fait vers la gauche, dans le cas contraire. La rotation est à peu près proportionnelle au carré de la longueur d'onde; elle est proportionnelle à l'épaisseur du cristal, lorsque celle des lames minces qui la composent reste constante.

Cette démonstration rend, il me semble, l'hypothèse de Reusch vraisemblable, au moins pour les substances qui, comme le quartz, ne possèdent la polarisation rotatoire que dans l'édifice cristallin. Pour celles dans lesquelles la propriété rotatoire persiste dans les dissolutions, il faudrait admettre que c'est la particule qui comprend une série

de lamelles entre-croisées, et que cette particule subsiste intacte dans la dissolution.

La théorie et l'observation montrent que la rotation du plan de polarisation peut être produite non-seulement par un entre-croisement de trois lames biaxes sous des angles de 120°, mais par celui de huit lames sous des angles de 45°. Le premier mode d'entre-croisement ne peut exister que lorsque les lames biaxes possèdent un axe normal sensiblement hexagonal. C'est le cas du quartz et du cinabre.

Le second mode d'entre-croisement ne peut se rencontrer que dans les cristaux clinorhombiques presque quadratiques, et encore est-il nécessaire alors que le plan des axes optiques fasse, avec l'un des axes binaires, un angle de 22° 30'. C'est sans doute le cas du sulfate de strychnine.

Je ne m'arrêterai pas plus longtemps sur le développement de l'hypothèse que je viens d'indiquer et que je n'ai pas cru pouvoir passer sous silence, tant elle se lie naturellement avec les conclusions de mes recherches.

NOTE THÉORIQUE

SUR LES

Phénomènes produits par les croisements des lames minces cristallines.

Lorsque deux ou plusieurs réseaux identiques peuvent devenir isomorphes en prenant des orientations différentes, ils peuvent aussi, comme je l'ai montré dans le mémoire auquel cette note est annexée, se combiner entre eux, ou se juxtaposer suivant des lois complexes qui varient d'une substance à l'autre et même, pour la même substance, d'un cristal à un autre.

Lorsque les réseaux se combinent, le cas est le même que celui de la cristallisation commune de deux substances isomorphes ; le réseau de chaque substance est modifié, et il se fait en quelque sorte une transaction entre les lois très-voisines, mais non identiques, que suivrait chaque réseau isolé. Cette modification du réseau entraîne, dans les propriétés optiques, des modifications correspondantes qu'il nous est impossible de prévoir, puisque dans l'état actuel de la science, on ignore les relations qui lient les propriétés optiques aux données cristallographiques.

Il est important, non-seulement de constater l'existence de ces modifications dans les propriétés optiques, mais encore de chercher à en préciser la nature. Pour y parvenir, il faut chercher quelles seraient ces propriétés optiques si les réseaux se mélangeaient sans s'altérer, puis comparer le résultat théorique ainsi obtenu aux phénomènes observés. On peut même espérer arriver un jour, par cette voie, à établir une relation entre les constantes cristallographiques et les constantes optiques.

Je me propose, dans cette note, de chercher quels seraient les phénomènes optiques que l'on observerait dans un cristal formé par le mélange intime, sans altérations mutuelles, de réseaux cristallins différents. Ces phénomènes sont réalisés dans des cas très-particuliers, par les croisements de lames minces de Norremberg et de Reusch.

Je supposerai un milieu rempli par des portions très-petites des réseaux différents en nombre quelconque; je supposerai en outre que ce mélange est homogène, c'est-à-dire que dans un volume *dont toutes les dimensions sont très-petites par rapport à une longueur d'ondulation*, et pris dans un point quelconque de la masse, la proportion des réseaux juxtaposés est la même. Le milieu imaginé étant homogène, possédera un ellipsoïde d'élasticité optique qui réglera tous les phénomènes biréfringents. Il s'agit

de déduire la connaissance de cet ellipsoïde, de celle des ellipsoïdes qui appartiennent à chacun des réseaux mélangés. On y parviendra aisément en remarquant que, si l'on donne à l'une des portions infiniment petites du milieu résultant un certain déplacement, la force élastique qui se développera sera la résultante de celles que le même déplacement ferait naître dans chacun des réseaux composants. Il ne reste plus qu'à écrire cette remarque dans des formules convenablement symétriques.

Je prends pour axes coordonnés des X, Y, Z, les axes de l'ellipsoïde d'élasticité du milieu résultant; j'appelle a_1^2, b_1^2, c_1^2, les axes de l'ellipsoïde du premier réseau, qui feront avec les axes coordonnés des angles dont les cosinus sont inscrits dans le tableau suivant à double entrée :

	X	Y	Z
a_1	m_1	n_1	p_1
b_1	m'_1	n'_1	p'_1
c_1	m''_1	n''_1	p''_1

Les données du deuxième réseau seront désignées par des notations identiques sauf la substitution de l'indice 2 à l'indice 1, et ainsi de suite pour le troisième, le quatrième réseau, etc.

Je donne à une portion très-petite du milieu un déplacement d'une certaine direction; il se développera dans le réseau 1 une force élastique représentée par le rayon vecteur de l'ellipsoïde 1 correspondant au point dont les coordonnées sont $x_1 y_1 z_1$; sur le réseau 2, le même déplacement fera naître une force représentée par le rayon vecteur de l'ellipsoïde 2, correspondant au point dont les coordonnées sont $x_2 y_2 z_2$, etc. Si je désigne par u_1, u_2, etc.,

les proportions respectives des réseaux 1, 2, etc., qui entrent dans le mélange, la force élastique résultante sera représentée par un rayon vecteur dont l'extrémité aura pour coordonnées x, y, z,

$$\text{I}\begin{cases} x = u_1 x_1 + u_2 x_2 + \ldots\ldots\ldots = \Sigma u_1 x_1, \\ y = \Sigma u_1 y_1, \\ z = \Sigma u_1 z_1. \end{cases}$$

J'appelle $x'_1 y'_1 z'_1$ les coordonnées du point $x_1 y_1 z_1$ prises par rapport aux axes de l'ellipsoïde 1 ; on sait, par une formule connue de la théorie de la double réfraction, que les cosinus des angles que fait le déplacement avec ces axes sont respectivement

$$\frac{x'_1}{a_1^2},\quad \frac{y'_1}{b_1^2},\quad \frac{z'_1}{c_1^2}.$$

Si donc on désigne par α, β, γ les cosinus des angles que fait le déplacement avec les axes X, Y, Z, on aura :

$$\text{II}\begin{cases} \dfrac{x'_1}{a_1^2} = m_1\,\alpha + n_1\,\beta + p_1\,\gamma, \\ \dfrac{y'_1}{b_1^2} = m'_1\,\alpha + n'_1\,\beta + p'_1\,\gamma, \\ \dfrac{z'_1}{b_1^2} = m''_1\alpha + n''_1\beta + p''_1\gamma, \end{cases}$$

et des équations analogues, sauf le changement des indices, pour les autres points $x_2 y_2 z_2$, etc.

On a d'ailleurs, par les formules de transformation de coordonnées :

$$\text{II}\begin{cases} x_1 = m_1\,x'_1 + m'_1\,y'_1 + m''_1\,z_1, \\ y_1 = n_1\,x'_1 + n'_1\,y'_1 + n''_1\,z_1, \\ z_1 = p_1\,x'_1 + p'_1\,y'_1 + p''_1\,z_1, \end{cases}$$

et des équations analogues pour les points correspondants des autres ellipsoïdes.

De la comparaison du groupe d'équations (II) et du groupe d'équations (III), on déduit :

$$x_1 = \alpha\Sigma m_1^2 a_1^2 + \beta\Sigma m_1 n_1 a_1^2 + \gamma\Sigma p_1 m_1 a_1^2,$$
$$y_1 = \alpha\Sigma m_1 n_1 a_1^2 + \beta\Sigma n_1^2 a_1^2 + \gamma\Sigma p_1 n_1 a_1^2,$$
$$z_1 = \alpha\Sigma p_1 m_1 a_1^2 + \beta\Sigma p_1 n_1 a_1^2 + \gamma\Sigma p_1^2 a_1^2.$$

Le signe Σ représentant la somme de trois termes analogues à celui qui est écrit, sauf que, dans le second, les cosinus m_1, n_1, p_1, sont remplacés par m'_1, n'_1, p'_1, et a_1 par b_1 ; et que dans le troisième, $m_1 n_1 p_1$ sont remplacés par $m''_1 n''_1 p''_1$, et a_1 par c_1.

On aurait des expressions analogues pour $x_2 y_2 z_2$, $x_3 y_3 z_3$, etc. Ces expressions portées dans les trois équations I donneront des équations du premier degré en α, β, γ. Les valeurs de ces inconnues, tirées de ces équations seront du premier degré en x, y, z ; portées dans l'équation

$$\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1,$$

elles donneront une équation du second degré en x, y, z qui sera l'équation de l'ellipsoïde cherché. En écrivant que l'ellipsoïde est rapporté à ses axes, on aura des relations qui détermineront la direction et la grandeur de ceux-ci.

Le calcul serait pénible et peu utile dans le cas général ; je me bornerai au cas particulier où les réseaux composants ont un axe d'élasticité optique commun, celui des z par exemple. Il faudra introduire alors dans les formules générales les relations

$$p_1 = p_2 = \ldots = p'_1 = p'_2 = \ldots = m''_1 = m''_2 = \ldots = n''_1 = n''_2 = \ldots = 0.$$
$$p''_1 = p''_1 = \ldots = 1,$$
$$m_1 = -n'_1 = \ldots - m_2 = - n'_2,$$
$$n_1 - m'_1 = \ldots - n_2 = m'_2.$$

On en déduit aisément :

$$x = e\alpha + f\beta,$$
$$y = f\alpha + e'\beta,$$
$$z = \gamma(u_1 c_1^2 + u_2 c_2^2 + \ldots).$$

en posant

$$e = u_1(m_1^2 a_1^2 + n_1^2 b_1^2) + u_2(m_2^2 a_2^2 + n_2^2 b_2^2) + \ldots..$$
$$e' = u_1(n_1^2 a_1^2 + m_1^2 b_1^2) + u_2(n_2^2 a_2^2 + m_2^2 b_2^2) + \ldots..$$
$$f = (a_1^2 - b_1^2) u_1 m_1 n_1 + (a_2^2 - b_2^2) u_2 m_2 n_2 + \ldots..$$

L'équation de l'ellipsoïde sera donc

$$\frac{(e'x - fy)^2 + (ey - fx)^2}{(ee' - f^2)^2} + \frac{z^2}{u_1 c_1^2 + u_2 c_2^2 + \ldots..} = 1.$$

Il y a un axe dirigé suivant l'axe des z, et qui a pour grandeur $\Sigma u_1 c_1^2$; quant aux autres axes de l'ellipsoïde, on les détermine en écrivant que le coefficient de xy est nul, c'est-à-dire que

$$2f(e + e') = 0,$$

ou comme e et e' sont essentiellement positifs,

$$f = 0;$$

c'est-à-dire,

$$\text{(IV)} \qquad u_1(a_1^2 - b_1^2) m_1 n_1 + u_2(a_2^2 - b_2^2) m_2 n_2 + \ldots.. = 0.$$

L'équation de l'ellipsoïde devient alors

$$\left(\frac{x}{e}\right)^2 + \left(\frac{y}{e'}\right)^2 + \frac{z^2}{\Sigma u_1 c_1^2} = 1;$$

les grandeurs des axes des y et des z sont donc respectivement e et e'.

Il faut remarquer que si l'on appelle ω_1 l'angle positif ou négatif que fait l'axe e avec a_1, ω_2 l'angle du même axe avec a_2 etc., on aura

$$m_1 = \cos \omega_1; \quad n_1 = \sin \omega_1; \quad m_1 n_1 = \frac{1}{2} \sin 2\omega_1,$$

et l'équation de condition (IV) deviendra :

$$u_1(a_1^2 - b_1^2) \sin 2\omega_1 + u_2(a_2^2 - b_2^2) \sin 2\omega_2 + \ldots.. = 0.$$

L'interprétation géométrique de cette relation est simple. Si l'on mène d'un point O des droites faisant mutuellement entre elles des angles doubles de ceux que forment les axes a_1, a_2, a_3, etc., et si l'on porte sur chacune de ces lignes des grandeurs respectivement proportionnelles à $u_1(a^2_1 - b^2_1)$, $u_2(a^2_2 - b^2_2)$, etc., la direction de la résultante de toutes ces droites sera celle de l'axe cherché. Pour éviter toute amphibologie, on prendra toujours $a > b$, de sorte que les différences $a^2_1 - b^2_1$, $a^2_2 - b^2_2$, soient toutes positives.

Appliquons au cas où p réseaux identiques, ayant l'axe c commun, et répartis en égales proportions, sont placés les uns par rapport aux autres de telle façon que les sections principales de deux réseaux superposés fassent entre elles des angles égaux à $\frac{2\pi}{p}$.

Quelle que soit la position assignée à l'axe A du réseau résultant, l'équation de condition (IV) ou (V) sera satisfaite car elle se mettra sous la forme :

$$o = u_1(a_1^2 - b_1^2)\left\{\sin\left(\frac{2\pi}{p} - \alpha\right) + \sin\left(\frac{4\pi}{p} - \alpha\right) + \sin\left(\frac{6\pi}{p} - \alpha\right) + \ldots\right\}.$$

La position de l'axe horizontal de l'ellipsoïde sera donc indéterminée, c'est-à-dire que l'ellipsoïde sera de révolution autour de l'axe C. Il est aisé de voir que la grandeur du rayon de cercle de l'équateur sera :

$$\frac{1}{2}(a_1^2 + b_1^2) = A^2.$$

Supposons deux réseaux identiques, de proportions inégales et ayant l'axe c (*) commun; les deux axes horizontaux auront respectivement pour valeurs :

$$A^2 = b^2 + (a^2 - b^2)(u_1 \cos^2\omega_1 + u_2 \cos^2\omega_2),$$
$$B^2 = a^2 - (a^2 - b^2)(u_1 \cos^2\omega_1 + u_2 \cos^2\omega_2).$$

(*) Nous supposons toujours $a > b > c$.

Posons :

$$u_1 \cos^2\omega_1 + u_2 \cos^2\omega_2 = \cos^2\omega',$$

ces deux formules deviennent

$$A^2 = b^2 + (a^2 - b^2)\cos^2\omega',$$
$$B^2 = a^2 - (a^2 - b^2)\cos^2\omega'.$$

Il est aisé de voir que le maximum de ω' s'obtiendra pour $\omega_1 = \omega_2$, ce qui entraînera $u_1 = u_2 = \frac{1}{2}$ et $\omega' = \omega$, ω étant le demi-angle des axes d'élasticité a.

Si j'appelle V le demi-angle des axes optiques du réseau mélangé, et v le même demi-angle pour chaque réseau composant :

$$\cos^2 V = \frac{1 - \cos^2\omega' \sin^2 v}{1 - \sin^2\omega' \sin^2 v}.$$

Si ω' croît, V décroît, et réciproquement. Ainsi le minimum de V a lieu lorsque les deux réseaux sont en proportions égales, et dans ce cas l'angle des axes optiques va toujours en décroissant à mesure que l'angle des lames superposées est plus ouvert. C'est le résultat trouvé par Reusch.

Supposons que l'axe commun des deux réseaux identiques soit l'axe moyen b, on aura

$$A^2 = c^2 + (a^2 - c^2)\cos^2\omega',$$
$$B^2 = a^2 - (a^2 - c^2)\cos^2\omega'.$$

$$\operatorname{tang}^2 V = \frac{A^2 - B^2}{B^2 - b^2} = \frac{(a^2 - c^2)\cos 2\omega'}{(a^2 - b^2) - (a^2 - e^2)\cos^2\omega'} = \frac{\cos 2\omega'}{\sin^2 v - \cos^2\omega'}.$$

L'angle ω' étant toujours plus petit que $\frac{\pi}{4}$, $\cos 2\omega'$ est toujours positif, on a donc toujours $A > B$.

Soit d'abord :

$$A > b,$$

ou $$c^2 + (a^2 - c^2)\cos^2\omega' > b^2,$$

ou $$\cos^2\omega' > \cos^2 v,$$

ou encore $$\omega' < v.$$

Dans ce cas, pour que l'axe commun soit une bissectrice, il faut que l'on ait :

$$\mathrm{B} > b,$$

ou $$\sin^2 v - \cos^2 \omega' > 0, \quad \text{ou } \omega' + v > \frac{\pi}{2},$$

ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que $v > \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire que le réseau est *négatif.*

Le cristal résultant sera positif si l'on a :

$$\mathrm{V} < \frac{\pi}{4}, \quad \text{ou } \cos 2\omega' < \sin^2 v - \cos^2 \omega',$$

ou enfin $$\cos^2 \omega' < \frac{1 + \sin^2 v}{3}.$$

Il sera négatif si

$$\mathrm{V} > \frac{\pi}{4} \quad \text{ou } \cos^2 \omega' > \frac{1 + \sin^2 v}{3};$$

mais dans l'un et l'autre cas, l'axe commun sera l'axe minimum du cristal résultant. Soit maintenant :

$$\mathrm{A} < b, \quad \text{ou } \omega' > v;$$

il faudra nécessairement $v < \frac{\pi}{4}$, c'est-à-dire que le réseau sera nécessairement *positif.*

Pour que l'axe commun soit une bissectrice, il faudra en outre que l'on ait :

$$\mathrm{B} > b \quad \text{ou } \omega' + v < \frac{\pi}{2}.$$

Le cristal résultant sera positif, si l'on a

$$\mathrm{V} > \frac{\pi}{4}, \quad \text{ou } \cos^2 \omega' > \frac{1 + \sin^2 v}{3};$$

et négatif si

$$\mathrm{V} < \frac{\pi}{4}, \quad \text{ou } \cos^2 \omega' < \frac{1 + \sin^2 v}{3},$$

mais dans l'un et l'autre cas, l'axe commun sera l'axe maximum du cristal résultant.

Ainsi, lorsque le réseau composant est négatif, l'axe commun est minimum; lorsque le réseau est positif, l'axe commun est maximum.

On ne peut donc pas attribuer à de simples croisements de lamelles perpendiculaires à l'axe moyen du réseau, les phénomènes optiques de l'apophyllite, par exemple, puisque l'axe commun devient, dans les assemblages de cette substance, tantôt l'axe minimum, tantôt l'axe maximum.

On ne peut pas davantage expliquer ces phénomènes par le croisement de lames perpendiculaires soit à l'axe minimum, soit à l'axe maximum du réseau, car il résulte de ce qui a été dit précédemment que, lorsque les lames croisées sont perpendiculaires à l'axe minimum ou à l'axe maximum, l'axe commun reste un axe minimum ou un axe maximum du cristal résultant.

Il faut donc admettre que le mélange intime des réseaux composants peut être accompagné de modifications dans les constantes optiques.

On peut chercher la condition pour que, avec deux réseaux mélangés, les axes soient égaux. Il est clair qu'on pourra poser

$$A^2 - B^2 = 0,$$

ou

$$(a_1^2 - b_1^2)\, u_1\, (m_1^2 - n_1^2) - (a_2^2 - b_2^2)\, u_2\, (m_2^2 - n_2^2) = 0,$$

ou encore

$$(a_1^2 - b_1^2) \cos 2\omega_1 + (a_2^2 - b_2^2)\, u_2 \cos 2\omega_2 = 0,$$

ce qui combiné avec la condition connue :

$$(a_1^2 - b_1^2)\, u_1 \sin 2\omega_1 + (a_2^2 - b_2^2)\, u_2 \sin 2\omega_2 = 0,$$

donne

$$\operatorname{tang} 2\omega_1 = -\operatorname{tang} 2\omega_2,$$

d'où

$$2\omega_1 = \pi - 2\omega_2, \quad \text{ou} \quad \omega_1 + \omega_2 = \frac{\pi}{2}.$$

Il faut donc que les deux réseaux soient croisés à angle

droit. Il est aisé de voir qu'il faudra en même temps que l'on ait :

$$(a_1^2 - b_1^2)\, u_1 = (a_2^2 - b_2^2)\, u_2.$$

Si les deux réseaux sont identiques, cette condition se réduit à $u_1 = u_2$, c'est-à-dire à l'égalité de proportion des deux réseaux constituants.

Dans le cas général, on aura pour les deux axes A et B supposés égaux, la valeur commune :

$$A = B = \sqrt{u_1(a_1^2 + b_1^2) + u_2(a_2^2 + b_2^2)},$$

qui se réduit dans le cas de l'identité de deux réseaux à

$$A = B = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2}.$$

On sait en effet que des lames minces de mica croisées à angle droit se comportent comme un cristal uniaxe.

On peut essayer une vérification un peu plus précise. M. Bertin, dans des expériences qu'il ne donne que comme approximatives, a trouvé que si l'on superpose des lames très-minces d'un mica, dont les axes optiques s'ouvrent dans l'air de 72°; les axes s'ouvrent de 56°, lorsque les lames font un angle de 45°, et de 46° lorsque celles-ci font un angle de 60°. On peut d'ailleurs admettre, avec Haidinger cité par M. Des Cloizeaux, que l'indice moyen du mica est de 1,61.

Avec ces données, on trouve :

$$V = 14° 3' \quad \text{pour } \omega_1 = 30°,$$
$$V = 16° 57' \quad \text{pour } \omega_1 = 22° 30'.$$

Or les formules données plus haut conduisent aux résultats suivants :

$$V = 15° 3' \quad \text{pour } \omega_1 = 30°$$
$$V = 18° 3' \quad \text{pour } \omega_1 = 22° 30'.$$

La vérification est satisfaisante, si l'on songe à l'incertitude de l'indice moyen employé, et aussi à l'incertitude des mesures données par M. Bertin.

Polarisation rotatoire.

Je viens d'esquisser une théorie des phénomènes produits par le croisement des lames, mais elle est incomplète en un point important. J'ai supposé que le rayon lumineux traversant les différentes lames infiniment minces superposées, se comportait comme si le mouvement vibratoire résultant était la superposition pure et simple des mouvements vibratoires composants. Cela revient évidemment à supposer que si l'on appelle O l'épaisseur en éther de la lame considérée, $\frac{O}{\lambda}$ est très-petit, et que par conséquent $\frac{O^2}{\lambda^2}$ est négligeable. Mais il peut se faire cependant que, par suite du passage du rayon à travers un nombre infini de lames superposées, les termes de l'ordre de $\frac{O^2}{\lambda^2}$ s'ajoutent de manière à produire un effet appréciable.

Je ne considérerai qu'un cas simple dont l'examen suffira pour l'objet que j'ai en vue. Je suppose que des lames cristallines, coupées normalement à un axe d'élasticité optique, sont empilées les unes sur les autres, de telle sorte que l'une quelconque d'entre elles fasse avec la lame immédiatement inférieure un angle égal à $\frac{2\pi}{m}$, m étant entier.

On sait par la théorie précédente, que lorsque l'on supperpose ainsi qm lames égales (q étant entier), l'ensemble résultant a pour axe principal unique l'axe d'élasticité commun, et qu'un rayon polarisé rectilignement, qui traverse normalement les lames superposées, en ressort polarisé encore rectilignement.

Il n'est cependant peut-être pas inutile, et il est en tous cas très-facile de démontrer directement ce théorème important, en partant des lois connues de la double réfraction.

On imagine n lames superposées, et un rayon polarisé qui les traverse. On appelle :

α l'angle du plan de polarisation primitif avec la section principale de la lame 1 ;

i_1 l'angle de la section principale de la lame 1 avec celle de la lame 2 ;

i_2 — — 2 — 3;

.

.

.

i_{n-1} — — $n-1$ — n.

On pose pour abréger l'écriture :

$\tau = 2\pi \frac{t}{T}$, t étant le temps variable, et T la durée d'une oscillation,

$o = 2\pi \frac{o'}{\lambda}$ o' étant l'épaisseur en éther de chaque lame pour le rayon ordinaire,

$e = 2\pi \frac{e'}{\lambda}$ e' l'épaisseur en éther de chaque lame pour le rayon extraordinaire.

Après avoir traversé p lames, la vibration du rayon émergent est elliptique, et rapportée aux axes X_p, Y_p de l'ellipse, elle aura pour équations :

$$x_1 = A \cos \tau,$$
$$y_1 = B \sin \tau.$$

Les lames traversées étant infiniment minces, tandis que le nombre p des lames traversées est fini, le rayon diffère peu d'un rayon polarisé rectilignement, et B sera très-petit.

Le rayon pénétrant dans la $(p+1)^e$ lame, se transforme en deux autres polarisés suivant les sections principales, OX et OY de cette lame, et en appelant m et n les cosinus

de X et de Y avec X_p, Y_p, les vibrations de chacun des rayons seront représentées par les équations

$$x = Am \cos(\tau - o) + Bn \sin(\tau - o),$$
$$y = -An \cos(\tau - e) + Bm \sin(\tau - e).$$

ou, en tenant compte de la petitesse des quantités B, o, e, et ne conservant que les termes du premier ordre de grandeur :

$$(1) \quad \begin{cases} x = Am \cos\tau + (oAm + Bn)\sin\tau, \\ y = -An \cos\tau + (Bm - eAn)\sin\tau. \end{cases}$$

L'ellipse vibratoire de ce nouveau rayon aura ses axes dirigés suivant des droites X_{p+1}, Y_{p+1} qui feront respectivement avec X_p et Y_p des angles très-petits. Si j'appelle ω l'angle très-petit de X_{p+1} avec X_p, les cosinus des angles de X_{p+1} et Y_{p+1} avec X et Y pourront être respectivement exprimés par

$$m' = m - n\omega, \quad n' = n + m\omega.$$

Soient A', B', et k des quantités telles que les vibrations du rayon émergent de la $(p+1)^e$ lame et rapportées à X_{p+1} et Y_{p+1} soient représentées par

$$x' = A' \cos(\tau - k),$$
$$y' = B' \sin(\tau - k),$$

ou, k et B' étant de très-petites quantités, par

$$x' = A' \cos\tau + KA' \sin\tau,$$
$$y' = B' \sin\tau.$$

On a d'ailleurs, en vertu des formules de transformation des coordonnées :

$$(2) \quad \begin{cases} x = m'x' + n'y' = A'm' \cos\tau + [kA'm' + B'n'] \sin\tau, \\ y = n'x' + m'y' = -n'A' \cos\tau + [m'B' - kn'A'] \sin\tau. \end{cases}$$

Les équations (1) et (2) sont identiques quel que soit τ; on devra donc avoir :

$$(3)\quad \begin{cases} Am = A'm' = A'(m - n\omega), \\ An = A'n' = A'(n + m\omega), \\ Amo + Bn = kA'm' + B'n' = kA'm + B'n, \\ Bm - Ane = -kA'n' + B'm' = -kA'n + B'm. \end{cases}$$

Des deux premières équations (3), on tire :

$$A = A' \quad \text{et} \quad \omega = 0.$$

Des deux dernières équation (3), on tire aisément :

$$B' = B + \frac{o - e}{2} A \sin 2\beta.$$

en posant

$$2mn = \sin 2B.$$

D'où l'on conclut qu'en passant de la p^e à la $(p+1)^e$ lame, le grand axe de l'ellipse vibratoire et sa direction ne changent pas, ou ne changent que de quantités du second ordre de grandeur; quant au petit axe, il s'accroît d'une quantité représentée par

$$-A \frac{\delta_{p+1}}{2} \sin 2(\alpha + i_1 + \ldots + i_p),$$

en posant :

$$\delta_{p+1} = \frac{o - e}{2} = \frac{\pi}{\lambda}(o' - e).$$

Après que le rayon aura traversé n lames, le petit axe b_n de l'ellipse vibratoire sera donc, en faisant $A = 1$, donné par l'équation

$$-2b_n = \delta_n \sin 2(\alpha + i_1 - \ldots + i_{n-1}) + \delta_{n-1} \sin 2(\alpha + i_1 + \ldots + i_{n-2}) + \ldots + \\ + \delta_1 \sin 2\alpha.$$

Le rayon émergent sera polarisé rectilignement, lorsque $b_n = 0$. Si l'on suppose toutes les lames égales, c'est-à-dire

$$\delta_n = \delta_{n-1} = \ldots = \delta_1,$$

et si l'on suppose de plus que les sections principales des lames successives font des angles égaux, c'est-à-dire

$$i_1 = i_2 = \ldots = i_n.$$

la somme sera nulle lorsque

$$ni = 2k\pi,$$

k étant entier, ou

$$ni = k\pi.$$

La condition nécessaire et suffisante pour que le rayon soit polarisé rectilignement est donc, dans le cas examiné, que la section principale de la $(n+1)^e$ lame revienne en coïncidence avec celle de la première.

On a vu que le grand axe de l'ellipse vibratoire du rayon émergent ne se déplace angulairement que d'une quantité qui est au moins du second ordre en $\frac{o'-e'}{\lambda}$. Cette rotation du grand axe, qui est la rotation du plan de polarisation, lorsque le rayon émergent est polarisé rectilignement, est donc insensible lorsque le nombre des lames n'est pas très-grand. Mais le nombre des lames pouvant être très-considérable, il peut se faire que la rotation du grand axe produise alors des phénomènes appréciables; c'est ce qui nous reste à chercher.

Des deux dernières équations (3) on tire, en multipliant la première par m, la seconde par n et retranchant la seconde de la première,

$$A(m^2 o + n^2 e) = kA',$$

d'où

$$k = m^2 o + n^2 e.$$

Reprenant maintenant les deux premières équations (3) après y avoir rétabli les termes du second ordre, elles deviennent :

$$Am \cos o - Bno = A'm \cos k - A'n\omega - B'nk,$$
$$An \cos e + Bme = A'n \cos K + A'm\omega + B'mk.$$

Multipliant la première par n, la seconde par m et retranchant, il vient :

$$Am(\cos o - \cos e) - B(n^2 o + m^2 e) = - A'\omega - B'K,$$

et en remplaçant k et B' par les valeurs précédemment trouvées, et faisant $A = 1$,

$$\omega = -mn(\cos o - \cos e) + B(n^2 o + m^2 e) - [B + mn(o-e)](m^2 o + n^2 e),$$

ou

$$\omega = -mn(\cos o - \cos e) - mn(o-e)(m^2 o + n^2 e) - B(m^2 - n^2)(o-e).$$

Tel est l'angle dont tourne le grand axe de l'ellipse de vibration, lorsque le rayon passe d'une lame à la suivante. Cherchons l'angle de rotation total Ω, lorsque le rayon aura traversé la $(n+1)^e$ lame, dont la section principale revient en coïncidence avec celle de la première. On aura

$$\Omega = -(\cos o - \cos e)\,\Sigma mn - o(o-e)\Sigma mnm^2 - e(o-e)\,\Sigma mnn^2 - \\ - (o-e)\Sigma B(m^2 - n^2).$$

Le Σ du premier terme du deuxième membre est la somme des sinus des angles d'un polygone régulier; il est donc nul. Il est aisé de voir qu'il en de même des deux Σ suivants. En effet,

$$\Sigma mnm^2 = \Sigma \sin 2\beta \cos^2\beta = \Sigma \sin 2\beta - \Sigma \sin 2\beta \sin^2\beta = -\Sigma \sin 2\beta \sin^2\beta,$$

donc

$$2\Sigma mnm^2 = \Sigma \sin 2\beta(\cos^2\beta - \sin^2\beta) = \Sigma \sin 2\beta \cos 2\beta = \frac{1}{2}\Sigma \sin 4\beta = 0.$$

Il vient donc

$$\Omega = -(o-e)\Sigma B \cos 2\beta,$$

$(o-e)$ entre en facteur dans les valeurs successives de B; Ω est donc proportionnel à $(o-e)^2$, et par conséquent à $\left(\frac{o'-e'}{\lambda}\right)^2$, c'est-à-dire à peu près inversement propor-

tionnel au carré de la longueur d'onde. La loi serait rigoureuse si $o' - e'$ ne dépendait pas lui-même de λ.

Toutes les lignes trigonométriques changent de signe, lorsqu'on change le sens suivant lequel sont comptés les angles β; Ω sera donc positif ou négatif suivant le sens *dextrorsum* ou *sinistrorsum*, suivant lequel sont empilées les lames successives.

La rotation Ω se reproduira dans le même sens pour chaque groupe de $(n + 1)$ lames. La rotation totale sera donc proportionnelle à l'épaisseur du cristal, si chaque lame composante reste de la même épaisseur.

Une partie de ces lois ont été trouvées expérimentalement par Reusch. La relation qui lie la rotation du plan de polarisation à la longueur d'onde, n'avait pas encore été constatée; elle est intéressante, car elle achève de montrer l'identité qui existe entre les phénomènes optiques du quartz et ceux des lames empilées suivant une loi régulière (*).

EXPLICATION DES PLANCHES I, II ET III.

Planche I.

Fig. 1. Projection stéréographique des pôles du trapézoèdre (112) ou a^2.

Fig. 2. Cristal d'amphigène, n° II.

Fig. 3. Cristal d'amphigène, n° III, montrant une mâcle ayant pour plan d'hémitropie, un plan passant par l'axe *a*, et à peu près également incliné sur les axes *b* et *c*.

Fig. 4. Plaque épaisse d'amphigène, perpendiculaire à l'axe pseudo-quaternaire, et vue à la lumière polarisée parallèle.

Fig. 5. Plaque d'amphigène *très-mince*, parallèle à celle de la précédente figure 2. *ss'* direction d'extinction de la plage *m*. — $s_1s'_1$ *id.* de la plage *q*.

Fig. 6. Plaque mince de boracite, parallèle à la face de l'octaèdre a^1, vue entre deux Nicols croisés.

Fig. 7. Figure théorique d'une plaque mince de boracite, parallèle à la face

---

(*) Un extrait de ce mémoire a été publié dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (séances des 1er et 15 mai 1876.

a^1, vue entre deux Nicols croisés, et dessinée en supposant que les 3 cristaux qui se groupent autour de O ne se mélangent point ensemble.

Fig. 8. Cristal cubique de boracite, montrant les 12 cristaux composants et l'intersection par une plaque *abcd, efgh*, parallèle à une face b^1.

Fig. 9. Cristal dodécaédrique de boracite, montrant les 12 cristaux composants, correspondant aux douze faces du dodécaèdre, et l'intersection par une plaque *abcdef, a'b'c'd'e'f'*, parallèle à une face b^1.

Fig. 10. Projection de la plaque *abcdef, a'b'c'd'e'f'* de la *fig.* 9.

Fig. 11. Plaque mince de boracite, parallèle à b^1, découpée dans un cristal cubododécaédrique, entre le centre et une face b^1, vue à la lumière polarisée parallèle, entre deux Nicols croisés.

PP plan de polarisation de l'analyseur.

Fig. 12. Coupe théorique d'un cristal de boracite par un plan parallèle à la face du cube, et voisin de celle-ci.

Fig. 13. Cristal dodécaédrique de boracite, coupé par une plaque *abcde, a'b'c'd'e'*, parallèle à une face a^2.

Fig. 14. Projection de la plaque *abcde, a'b'c'd'e'* de la *fig.* 13.

Les lignes pointillées tracées dans les divers secteurs, marquent les directions des lignes d'extinction de ceux-ci.

Fig. 15. Plaque mince de boracite, parallèle à une face a^2, et vue entre deux Nicols croisés.

Fig. 16. Plaque mince de grenat topazolite, taillée parallèlement à b^1, et vue entre deux Nicols croisés.

Les parties portant des hachures verticales représentent des fissures du cristal.

Fig. 17. Autre plaque mince de topazolite, parallèle à b^1.

Planche II.

Fig. 18. Cristal dodécaédrique de grenat, montrant l'agencement des 48 cristaux dont il est théoriquement composé.

Fig. 19. Plaque mince de topazolite perpendiculaire à un axe quaternaire, et vue entre deux Nicols croisés.

Fig. 20. Plaque mince de grenat aplôme, parallèle à b^1 ; vue entre deux Nicols croisés, le plan de polarisation étant parallèle à une diagonale.

Fig. 21. Autre plaque mince d'aplôme, parallèle à b^1 ; le plan de polarisation étant un peu incliné sur la diagonale.

Fig. 22. Plaque mince de grenat vert ouwarowite, parallèle à b', vue entre deux Nicols croisés, le plan de polarisation étant parallèle à une diagonale.

Fig. 23. Diagramme d'une lame de sénormantite, parallèle à une face hypothétique b^1, et passant par le centre du cristal.

Les lignes pointillées indiquent les directions d'extinction des divers secteurs.

Fig. 24. Diagramme d'une lame de sénarmontite parallèle à une face de cube.

Fig. 25. Figure montrant l'agencement des 48 cristaux, dont est composé théoriquement un cristal octaédrique de sénarmontite.

Fig. 26. Plaque d'analcime parallèle à une face p et taillée près du centre du cristal.

Les lignes terminées par des flèches représentent les directions d'extinction des divers secteurs.

Les parties hachées ne s'éclairent pas entre deux Nicols croisés, et représentent les parties irrégulières du cristal où se fait la fusion des cristaux juxtaposés.

Fig. 27. Coupe théorique d'un cristal d'analcime faite suivant un plan médian, perpendiculairement à une face ABA'B' du cube.

Les diagonales de carré indiquent les lignes de séparation entre les 4 cristaux composants.

Les hachures montrent, dans chaque secteur, la direction des axes pseudo-quadratiques.

Fig. 28. Coupe théorique du même cristal d'analcime, faite suivant un plan médian, parallèle à la face ABA'B' du cube.

Les hachures montrent encore la direction des axes pseudo-quadratiques.

Fig. 29. Coupe théorique d'un cristal d'analcime, faite perpendiculairement à un axe pseudo-ternaire,

Fig. 30. Plaque mince d'analcime, parallèle à une face cubique, vue entre deux Nicols croisés. Les lignes terminées par de petits cercles indiquent la direction de l'axe des lemniscates observées dans chaque secteur, et dénotant la symétrie orthorhombique du réseau de la substance.

Fig. 31. Figure montrant l'agencement des 24 cristaux orthorhombiques dont est formé théoriquement un cristal d'analcime; en même temps que la relation de cet agencement avec les pyramides surbaissées que présentent les faces du cube dans les cristaux naturels.

Fig. 32. Plaque mince de fluorine parallèle à une face du cube, vue entre deux Nicols croisés, le plan de polarisation étant parallèle à une diagonale.

Fig. 33. Plaque mince de fluorine, parallèle à une face octaédrique, vue entre deux Nicols croisés, le plan de polarisation étant perpendiculaire à l'un des côtés de la plaque triangulaire.

Fig. 34. Diagramme d'une plaque d'alun parallèle à une face p.

Fig. 35. Diagramme d'une plaque d'alun parallèle à une face b^1.

Fig. 36. Figure montrant les quatre orientations dont est susceptible un même réseau clinorhombique presque orthorhombique.

OA_1, OA_2, OA_3, OA_4 sont les quatre positions que peut prendre un même axe d'élasticité optique, situé dans le plan de symétrie, dans chacune des quatre positions du réseau.

Planche III.

Fig. 37. Lame de clivage d'un cristal d'apophyllite de Poonah, vue entre deux Nicols croisés.

c. Plage d'apparence uniaxe.

b. Plage d'apparence biaxe, montrant des lemniscates dont l'axe est dirigé suivant $\alpha\beta$.

a. Plage d'apparence biaxe, montrant des lemniscates dont l'axe est dirigé suivant $\gamma\delta$.

Fig. 38. Lame de clivage d'apophyllite de Zacatecas, vue entre deux Nicols croisés, le plan de polarisation étant dirigé parallèlement à un des côtés de la base du prisme carré.

Les parties presque noires de la figure changent seulement de teinte par la rotation de la plaque; elles présentent une apparence uniaxe.

Les secteurs de couleur claire ont une apparence biaxe, les lignes tracées dans leur intérieur indiquent la direction des axes des lemniscates qu'on y observe.

Fig. 39. Même lame vue entre deux Nicols croisés, après avoir placé le plan de polarisation suivant une diagonale de la base du prisme pseudo-quadratique.

Fig. 40. Fragment d'un cristal de Feroë, vu à travers une face *m*, le plan de polarisation étant incliné de 45° sur la hauteur.

Fig. 41. Lame de clivage d'un cristal de Féroë, découpée vers le milieu du cristal.

Fig. 42. Lame de clivage d'un cristal de Féroë, découpée vers l'une de ses extrémités.

Fig. 43. Lame de clivage d'apophyllite de Cafre d'Or (Nova Scotia), divisée en deux plages d'apparence biaxe, et montrant des lemniscates à axes croisées rectangulairement.

Fig. 44. Lame de clivage découpée dans une pyramide a^1 d'un cristal d'apophyllite d'Andreasberg. Plan de polarisation oblique sur le côté de la base (diagonale de la figure).

Fig. 45. Lame de clivage d'apophyllite provenant de la collection de Biot, sans indication d'origine. Le plan de polarisation est parallèle à un des côtés de la lame.

Fig. 46. Plaque épaisse d'idonose d'Ala, perpendiculaire à l'axe pseudo-quadratique. PP, plan de polarisation.

Fig. 47. Cristal d'idocrase d'Ala taillé parallèlement à la hauteur, le plan de polarisation étant incliné de 45° sur cette hauteur.

Fig. 48. Plaque mince d'idocrase d'Ala, perpendiculaire à l'axe pseudo-quadratique. Le plan de polarisation est à peu près perpendiculaire à l'un des côtés de la base.

Nota. Le contour de la plaque n'est pas parallèle à celui de la base.

Fig. 49. Plaque mince de rutile de Saint-Yrieix, le plan de polarisation étant incliné de 45° environ sur les côtés de la base.

Fig. 50. Courbes isochromatiques développées dans les lames minces de brookite par la lumière convergente.

Fig. 51. Lame mince de Zircon perpendiculaire à l'axe pseudo-quadratique.
Les plages B s'éteignent suivant les côtés; les plages A et α, suivant les diagonales.

Fig. 52. Lame mince d'apatite de Schlaggenwald, vue à la lumière polarisée parallèle.

Fig. 53. Lame mince d'apatite de Schlaggenwald, telle qu'elle serait vue à la lumière polarisée parallèle, si les 3 cristaux juxtaposés, correspondant aux trois secteurs de 60°, n'empiétaient les uns sur les autres.
Des lignes marquent les directions des axes des lemniscates observées dans chacune des trois plages.

Fig. 54. Lame d'apatite de l'Estramadure avec un grain de fer oxydulé.

Fig. 55. Lame très-mince d'émeraude perpendiculaire à l'axe.

Fig. 56. Lame de clinochlore d'Ala.
PP plan de polarisation.
Le centre de la plaque paraît à peu près uniaxe.

Fig. 57. Harmotome d'Oberstein.

Fig. 58. Harmotome d'Andreasberg.

Fig. 59. Lame mince de topaze du Brésil. Le plan de polarisation est très-peu différent de la direction de la diagonale.

Fig. 60. Lame mince de topaze.

Fig. 61. Lame mince d'orthose du Saint-Gothard, perpendiculaire à l'arête verticale *h*. Le plan de polarisation coïncide presque avec la diagonale.

NOTE (*)

SUR

L'EXPLOSION DE LA CHAUDIÈRE DU BATEAU A VAPEUR *le Cettois*.

Le 13 décembre 1874, la chaudière du remorqueur *le Cettois* a fait explosion, dans le canal de Cette, au nord du pont tournant du chemin de fer du Midi. Une grande partie du pont de bateaux a été projetée en l'air, et avec elle un mousse qui y était couché au-dessus de l'emplacement de la chaudière. Son cadavre a été retrouvé sur la rive, à une soixantaine de mètres du lieu de l'accident.

En même temps le bateau coulait bas, entraînant le capitaine et les trois autres hommes de l'équipage; mais tous ont pu être retirés de l'eau, et les contusions ou les brûlures qu'ils ont reçues ont été sans gravité. Ils étaient rétablis après quelques jours.

Le bateau et la chaudière ont été relevés trois semaines après.

Ils étaient en service depuis deux ans et sortaient des ateliers de MM. Fraissinet père et fils, à Marseille.

La chaudière était à foyer intérieur, tubulaire, suivant la forme généralement usitée maintenant pour les appareils marins, sauf la particularité caractéristique suivante, qui, comme on le verra, est en relation directe avec l'accident. Le corps figurait un cylindre principal surmonté d'un demi-cylindre, de diamètre environ moitié plus petit, auquel il se raccordait par une surface de courbure inverse.

(*) Cette note est la reproduction, par extraits, d'un rapport présenté à la Commission centrale des machines à vapeur, dans sa séance du 10 mai 1876, par M. l'ingénieur en chef Cléry, *rapporteur*.

Le cylindre inférieur était complet, même dans la partie recouverte par l'autre, à l'exception de deux larges ouvertures qui avaient été pratiquées à ses extrémités longitudinales pour le passage de la vapeur. L'espace compris entre les deux surfaces cylindriques servait de réservoir supplémentaire de vapeur.

Le timbre était de 6 kil.

Les parties intérieures de la chaudière n'ont pas souffert de l'explosion; elles sont restées intactes : l'enveloppe a été seule affectée. Le cylindre inférieur et le cylindre supérieur se sont déchirés, d'abord à leur raccordement longitudinal de gauche suivant la ligne de rivure, en pleine tôle : les parties ainsi séparées se sont développées, chacune de leur côté, en rompant leurs attaches avec les faces d'avant et d'arrière et en s'entr'ouvrant en différents sens.

Le bateau, au moment de l'accident, remorquait quatre bateaux, chacun d'un tonnage de 40 à 50 tonnes, et développait une traction bien inférieure à sa puissance. Il naviguait depuis deux heures et demie environ, dans l'étang de Thau, quand le capitaine fit stopper pour changer l'ordre de la remorque. Cette manœuvre, qui dura cinq minutes, une fois exécutée, l'ordre fut donné d'avancer lentement : c'est quelques secondes après que l'explosion eut lieu.

D'après l'enquête faite par la commission de surveillance du port de Cette, cette explosion ne peut être attribuée ni à un défaut d'alimentation, ni à une surélévation volontaire de pression, ni à un mauvais entretien : elle serait uniquement imputable à la forme vicieuse du corps extérieur du générateur. Cette enveloppe, à forme tourmentée, avait en effet une tendance évidente à la déformation, et cette tendance n'était combattue que par la tôle, en forme de calotte, qui prolongeait le cylindre supérieur. Cette tôle fonctionnait à l'instar d'un tirant, mais d'un tirant sus-

ceptible de variations angulaires autour de ses points d'attache, suivant le degré de la pression.

D'un autre côté, le demi-corps cylindrique supérieur était sollicité, en raison de sa double courbure, à des flexions de sens inverse, autour de la même ligne de raccordement.

Ces actions devaient avoir pour effet de tendre à déterminer un lieu spécial de cassure et d'arrachement, et c'est bien en effet ce qui est arrivé.

Une constatation particulière a d'ailleurs confirmé cette appréciation théorique à laquelle conduisait le seul examen de la chaudière. En effet, tandis que partout ailleurs les cassures étaient couvertes d'une couche ocreuse de rouille, la tranche de la tôle, vers le milieu de la longueur du raccordement déchiré, présentait un aspect blanchâtre qui diminuait peu à peu, en tournant au rouge, à mesure qu'on approchait des extrémités. Cette couleur blanchâtre n'était autre que celle du tartre déposé pendant la marche normale de la chaudière, et se retrouvait notamment sur la tranche des ouvertures entaillées sur la calotte du cylindre inférieur pour permettre le passage de la vapeur.

Cette observation indique qu'il existait, avant l'explosion, un commencement de rupture, provoqué ou au moins développé par ces mouvements de flexion en sens inverses que le métal éprouvait en ces points à chaque changement sensible dans la pression.

Il n'y a aucune observation à présenter en ce qui concerne la cause à laquelle la commission de surveillance impute l'accident. Peut-être cependant, si l'on remarque que l'explosion a eu lieu après un arrêt, au moment de la remise en marche, serait-on amené à supposer que d'autres actions ont pu se produire, qui ont ajouté leur effet à celui de la forme vicieuse de la chaudière; mais elles ne seraient que d'une importance secondaire, et le fait dominant reste toujours celui que la commission a mis en relief.

Il y a lieu de conclure, en résumé, que l'explosion est due à la forme vicieuse du corps extérieur du générateur …u défaut de solidité qui en résultait.

…a *Commission centrale des machines à vapeur*, adoptant l'avis émis par le rapporteur, a jugé qu'il y avait lieu de donner à cet accident la publicité des *Annales*, afin d'appeler sur les vices analogues de construction qui peuvent se présenter l'attention des commissions de surveillance des bateaux à vapeur.

NOTE

SUR

UNE EXPLOSION DE CHAUDIÈRE A VAPEUR SURVENUE LE 23 AVRIL 1874 DANS UNE RAFFINERIE A LA VILLETTE.

Des accidents nombreux, dont quelques-uns ont eu des conséquences graves, se sont produits pendant ces dernières années dans des fabriques de sucre, où les chaudières à vapeur sont alimentées par un mélange d'eaux naturelles calcaires et d'eaux de condensation contenant des matières grasses et provenant soit de la machine motrice, soit de certains appareils d'élaboration des jus où l'on emploie des corps gras pour empêcher l'émulsion des liquides.

Ce mélange met en présence à une haute température et à une haute pression des acides gras et des sels calcaires qui réagissent les uns sur les autres et qui donnent naissance à des sels gras ou savons calcaires.

Ces savons, en se déposant sur les parois intérieures des chaudières, s'opposent au contact de l'eau, en sorte que, si d'un autre côté ces tôles sont exposées à l'action d'une chaleur intense, comme à l'endroit du coup de feu ou au retour de flammes, le métal se surchauffe, se détériore rapidement et finit par se déchirer. Des explosions graves peuvent en résulter; mais dans tous les cas le moindre des effets produits est de mettre l'appareil hors de service et de causer aux usines des chômages préjudiciables.

Des accidents de ce genre sont susceptibles d'arriver, non pas seulement dans les fabriques de sucre, mais encore dans tous les établissements où l'alimentation des chaudieres se fait par un mélange d'eaux de condensation provenant de la machine et d'eaux naturelles calcaires.

Il a semblé opportun d'appeler l'attention sur cette cause de destruction des chaudières, qui n'est pas assez connue, en insérant dans les *Annales des mines* et dans celles *des ponts et chaussées*, l'extrait suivant du rapport lu à la Commission centrale des machines à vapeur, dans sa séance du 7 octobre 1874, par M. l'ingénieur en chef des mines, rapporteur de ladite commission, au sujet de l'accident arrivé par cette cause dans l'établissement de MM. Lebaudy frères, raffineurs de sucre à la Villette (Paris), rapport dont les conclusions ont été adoptées par la Commission.

Extrait du rapport lu à la Commission centrale des machines à vapeur.

Le 23 avril 1874, un bouilleur d'une chaudière à vapeur de la raffinerie de M. Lebaudy, à la Villette (Paris), s'est déchiré à sa partie postérieure, et l'eau bouillante mêlée de vapeur qui s'est précipitée par cette ouverture a brûlé grièvement deux chauffeurs, qui sont morts des suites de leurs blessures.

La déchirure, qui du reste a été peu importante, s'est faite sans commotion sensiblé et sans donner lieu aux perturbations qui accompagnent d'ordinaire les explosions de chaudières. Le local n'a éprouvé aucun dégât, le générateur n'a pas été déplacé et le fourneau est resté intact.

La tôle avait cédé sous la pression normale de marche, par suite d'une détérioration du métal analogue à ce qu'on appelle vulgairement un coup de feu dans les appareils qui sont chauffés sans précaution. C'est ce qui résulte du procès-verbal qui a été dressé par M. l'ingénieur des mines Martelet et du rapport très-circonstancié dont il l'a fait suivre, en raison de la nature particulière des faits qui ont donné lieu à l'accident.

Le bouilleur qui s'est ouvert appartenait à un générateur important établi en 1872 et composé d'un corps cylindrique

presque tubulaire, de deux bouilleurs inférieurs et d'un réservoir de vapeur distinct, situé à la partie supérieure.

Un mois environ avant l'accident, des boursouflures, accompagnées de suintements, s'étaient produites aux extrémités inférieures d'arrière des deux bouilleurs, vers le point où les flammes changent de direction, et avaient déterminé l'enlèvement et le remplacement de la tôle sur une longueur de $0^m,28$ et une largeur de $0^m,31$. Dans le bouilleur de gauche, l'avarie, allant au delà de la virole cylindrique, avait entamé le fond bombé; aussi la pièce ajoutée avait-elle été établie en cuivre embouti, de manière à embrasser à la fois ces deux surfaces qui se coupaient presque à angle droit. C'est cette pièce qui s'est déchirée après avoir subi un commencement de déformation.

M. Martelet a attribué la déchirure à la présence d'un dépôt insoluble composé principalement d'un savon calcaire qui s'était formé au voisinage du débouché du tuyau d'alimentation et qui est dû à la nature des eaux alimentaires. Ces eaux étaient de deux sortes : les unes, fournies par la ville, provenaient de la Seine et contenaient des principes calcaires; les autres, résultant de la condensation des vapeurs, renfermaient des matières grasses entraînées mécaniquement hors des machines qu'elles avaient servi à lubrifier. Les graisses avaient réagi sur les carbonates en dissolution dans l'eau et avaient formé un composé gras et savonneux qui enveloppait la tôle à l'intérieur d'un enduit isolant et dont l'interposition avait pour conséquence de surchauffer le métal au contact de gaz dont la température, d'après les constatations faites par M. Martelet, pouvait s'élever au delà de 800°. On conçoit que, dans ces conditions, la pièce de cuivre se soit aigrie, boursouflée et qu'elle ait fini par s'entr'ouvrir.

M. l'ingénieur en chef Meugy a adopté les conclusions de M. l'ingénieur ordinaire.

OBSERVATIONS.

La formation de dépôts savonneux calcaires isolants par l'emploi simultané ou intermittent d'eaux naturelles et d'eaux grasses résultant de la condensation de vapeur est donc la cause à laquelle les ingénieurs du service de la surveillance ont rapporté l'accident qui est en ce moment soumis à l'examen de la Commission.

Cette formation paraît avoir été constatée pour la première fois il y a une quinzaine d'années environ; mais ce fait et ses conséquences n'ont reçu quelque publicité qu'en 1865, en Allemagne, et deux ans après en France, où ils ont donné lieu pendant l'année 1867 à une communication à la société des ingénieurs civils et à deux articles publiés dans le *Technologiste*. Toutefois, ils sont encore peu connus de la plupart des constructeurs ou industriels, ou du moins s'ils le sont, les précautions que leur connaissance devrait entraîner sont loin d'être toujours prises, notamment dans les nouvelles fabriques de sucre qui font usage de graisses et de beurres dans certains de leurs appareils d'élaboration et qui utilisent les vapeurs qui en proviennent.

Nous avons déjà indiqué ce fait à la Commission au sujet de l'explosion arrivée le 11 octobre 1873 à la sucrerie de Savy-Berlette (Pas-de-Calais).

Cette explosion a été expliquée par un coup de feu; mais la cause qui a déterminé ce coup de feu n'a pas été précisée; il nous parut probable qu'il s'était passé dans la circonstance un phénomène de la nature de celui qui nous occupe en ce moment. Il en est vraisemblablement de même pour d'autres explosions arrivées dans d'autres sucreries, toujours aux coups de feu des chaudières, et qui ont été attribuées, très-probablement à tort, à des défauts d'alimentation.

Mais indépendamment de ces accidents suivis de morts

et de blessures, il en est d'autres où les déchirures n'ont donné lieu qu'à des vidanges de chaudières et à des chômages d'ateliers et qui n'ont pas été portés à la connaissance de l'administration puisqu'ils n'avaient pas fait de victimes.

Leur nombre nous est inconnu, mais il doit être relativement important à en juger par les résultats qu'ont fournis quelques recherches que nous avons faites à ce sujet, d'après les instructions de la Commission, et qui n'embrassent qu'une période de deux ou trois ans.

C'est ainsi que pendant la campagne de 1871 une sucrerie établie dans la Marne et qui emploie couramment douze chaudières, a eu successivement seize ruptures aux coups de feu; qu'une autre, dans le département d'Eure-et-Loir, en a eu onze en 1873, dans les deux premiers mois de son installation.

Les eaux de condensation étaient constituées par un mélange d'eaux calcaires artésiennes ou de rivière, et d'eaux plus ou moins graisseuses provenant de la condensation des vapeurs de la machine et des appareils à triple effet. Le dépôt de sel gras calcaire pulvérulent a été constaté dans les deux établissements.

Les accidents ont cessé et le sel ne s'est plus formé dès que le mélange n'a plus eu lieu.

A la suite de ces faits, qui s'étaient passés dans le sous-arrondissement minéralogique confié à M. Michel Lévy, cet ingénieur s'est empressé d'appeler l'attention de tous les fabricants de sucre établis dans son ressort sur les dangers de ce mode d'alimentation et sur la manière de les éviter. C'est même aux indications données par M. Michel Lévy que l'un d'eux a dû de pouvoir faire cesser les avaries continuelles qui frappaient ses générateurs depuis le commencement de la campagne.

Dans le département des Ardennes, deux sucreries ont eu les foyers de leurs chaudières plusieurs fois remplacés pendant ces dernières années; ces accidents ne se sont plus

renouvelés dès qu'on a eu accompli la séparation des eaux alimentaires.

Enfin une sucrerie du département de l'Oise a donné lieu à des observations de même nature.

Ces accidents, dont nous ne citerons pas un plus grand nombre, atteignent principalement les nouveaux établissements. Auparavant les eaux condensées n'étaient pas en contact avec les produits traités, tandis que dans les systèmes perfectionnés actuels, elles y sont au moins dans les appareils dits à triple effet.

Ces faits ne se sont pas présentés seulement dans les usines à sucre, mais dans d'autres où la vapeur d'échappement de la machine, ou bien des eaux qui avaient été en contact superficiel avec ces vapeurs, étaient employées concurremment avec les eaux de rivière ou de puits. C'est même dans ces circonstances spéciales que la réaction des eaux calcaires sur les graisses entraînées par la vapeur et que les conséquences qu'elle produit ont été constatées et étudiées pour la première fois. Les exemples les plus frappants de ce phénomène, indépendamment de ceux arrivés en Allemagne, se sont produits en France à Pont-Remy et à l'arsenal de Bourges. Nous pourrions en mentionner encore d'autres très-récents, arrivés dans une scierie à Compiègne et dans un moulin à Chantilly. Dès que les mélanges d'eaux qui s'y opéraient ont été abandonnés ou que des précautions spéciales ont été prises pour modifier la composition des sels, les avaries ne se sont plus représentées.

La cause à laquelle ont été attribués des accidents aussi multipliés mérite d'être signalée d'une manière toute spéciale. Aussi nous semblerait-il opportun d'éveiller sur ce sujet l'attention des ingénieurs et des industriels en publiant le rapport qui précède dans les *Annales des mines* et dans celles des *ponts et chaussées*.

D'un autre côté, il paraîtrait utile que l'administration invitât les ingénieurs chargés de la surveillance à examiner

dans leurs tournées de service la manière dont les chaudières sont alimentées, à signaler aux industriels qui se serviraient d'un mélange d'eaux calcaires et d'eaux de condensation provenant des machines ou d'appareils employant des matières graisseuses, les inconvénients et même les dangers de ce mélange, et à leur indiquer, s'il y a lieu, la manière d'y remédier.

Le mauvais effet du mélange peut être détruit par différents moyens, parmi lesquels on peut indiquer notamment : l'épuration préalable des eaux calcaires par l'emploi du carbonate de soude, la filtration des eaux de condensation au travers de couvertures de laine ou de feutres, ou plus simplement l'enlèvement des matières grasses à la surface des bâches de condensation, les extractions fréquentes à la surface de l'eau des chaudières, etc.

CONCLUSIONS.

En résumé, d'après les observations qui précèdent, nous proposons à la Commission d'émettre l'avis :

1° Que, conformément à l'opinion exprimée par MM. les ingénieurs du service de surveillance, l'accident arrivé dans la raffinerie de M. Lebaudy est dû principalement à la formation, sur une partie de chaudière exposée à une chaleur intense, d'un dépôt isolant provenant de la réaction provoquée par le mélange, à haute température et à haute pression, d'eaux de condensation grasses et d'eaux naturelles contenant des principes calcaires;

2° Qu'il conviendrait, en raison de la cause spéciale et encore peu connue de cet accident, d'insérer dans les *Annales des mines* et dans celles *des ponts et chaussées* le rapport qui précède;

3° Qu'il y aurait un intérêt sérieux à recommander aux

ingénieurs d'appeler l'attention des industriels sur les inconvénients et le danger qu'offre l'emploi simultané ou intermittent, pour l'alimentation des chaudières, d'eaux naturelles calcaires et d'eau de condensation provenant, soit des machines motrices, soit de certains appareils d'élaboration où l'on se sert de principes graisseux.

NOTE

SUR

LE VRAI SENS DES MOTS FER ET ACIER.

Par M. L. GRUNER.

On connaît la confusion qui règne, depuis quelques années, dans les forges, au sujet de la distinction à établir entre le fer proprement dit et l'acier.

MM. *S. Jordan* et *Greinert*, et à leur suite plusieurs maîtres de forges, ont proposé d'appeler *acier* tout produit ferreux malléable fondu, et de réserver le nom de *fer* aux produits ferreux malléables qui n'ont pas subi la fusion.

Dans mon rapport sur l'Exposition de Vienne (page 16) je fis remarquer qu'à ce compte l'ancien acier, c'est-à-dire l'acier *naturel*, *cémenté*, *corroyé*, etc., ne serait plus de l'acier, mais du fer ordinaire, et que la nouvelle nomenclature ne tenait aucun compte de la propriété si caractéristique de la *trempe*, qui ne dépend pas de la fusion, mais de la nature chimique du métal.

D'autres métallurgistes ont également protesté contre ces définitions nouvelles. Je citerai MM. Akerman, Wedding, Percy, Egleston, etc.

Lors du Congrès de l'Industrie minérale à Douai, MM. Vicaire, Jouget et d'autres ingénieurs se sont également associés à mes réclamations.

La même question fut soulevée en Amérique, dans les réunions de l'*American institute of the mining engineers*, tenues en juin dernier à l'occasion de l'exposition universelle de Philadelphie. M. Egleston, professeur de métallurgie à l'École des mines de New-York, proposa de

nommer un comité international, chargé de soumettre au monde industriel une nomenclature générale des produits malléables du fer.

La proposition fut adoptée, et la commission composée de MM. Lowthian Bell, P. Tunner, L. Gruner (*), H. Wedding, R. Akerman, A. L. Holley et T. Egleston.

Ce comité, après discussion approfondie, a décidé de soumettre à l'approbation du monde industriel les propositions motivées suivantes, sur la nomenclature des produits ferreux malléables.

Traduction du rapport approuvé par le comité international qui fut nommé par l'American institute of the mining engineers pour fixer le sens des mots fer *et* acier (**).

« *Considérant* que la fabrication des fers doux malléa-
« bles *fondus*, tant par les procédés Bessemer et Siemens-
« Martin que par la fusion au creuset, semble réclamer
« une nouvelle nomenclature des produits ferreux, afin
« d'éviter tout malentendu;

« *Considérant*, en effet, que le mot *acier*, par lequel
« ces fers doux sont désignés, en Angleterre et aux États-
« Unis, dans les relations commerciales et dans les forges,
« ne les distingue pas des *anciens aciers* proprement dits,
« qui jouissent de la propriété spéciale de durcir par la
« trempe;

« *Considérant* qu'une nomenclature commune à toutes
« les langues semble désirable, aussi bien au point de vue
« commercial qu'au point de vue scientifique, puisque déjà
« des procès sont engagés sur le vrai sens du mot *acier*;

« *Considérant* enfin que le caractère définitif des fers

(*) Seul je n'étais pas présent à Philadelphie, mais le procès-verbal des réunions a été soumis à mon approbation et l'on m'a prié de fixer les termes de la nomenclature française.

(**) Ce rapport a paru dans le *Mining Journal* de New-York, du 28 octobre 1876, page 278. J'ai cherché à le traduire aussi littéralement que possible.

« fondus, doux ou durs, c'est-à-dire, leur parfaite homo-
« généité due à la fusion, peut tout aussi bien être ex-
« primé par un autre terme que par le vieux mot *acier*,
« nom qu'il convient de laisser aux composés malléables
« du fer qui durcissent par la trempe;

« *Recommande* l'adoption de la nomenclature suivante :

« I. Tout composé ferreux malléable, comprenant les
« éléments ordinaires de ce métal, et obtenu, soit par la
« réunion de masses pâteuses, soit par paquetage, ou par
« tout autre procédé n'impliquant pas la fusion, et qui
« d'ailleurs ne durcit pas sensiblement par la trempe, bref
« tout ce que l'on a désigné jusqu'à ce jour par le nom de
« *fer doux* (*Wrought-iron*, anglais), sera appelé à l'avenir
« FER SOUDÉ (*Weld-iron*, anglais; *Schweiss-eisen*, alle-
» mand).

« II. Tout composé analogue qui, par une cause quel-
« conque durcit sous l'action de la trempe, et fait partie
« de ce que l'on appelle aujourd'hui *acier naturel*, *acier*
« *de forge*, ou plus particulièrement *acier puddlé* (*pud-*
« *dled-steel*), sera appelé ACIER SOUDÉ (*Weld-steel*, an-
« glais; *Schweiss-stahl*, allemand).

« III. Tout composé ferreux malléable, comprenant les
« éléments ordinaires de ce métal, qui aura été obtenu
« et coulé à l'état *fondu*, mais qui ne durcit pas sensible-
« ment sous l'action de la trempe, sera appelé FER FONDU
« (*Ingot-iron*, anglais; *Fluss-eisen*, allemand).

« Enfin IV. Tout composé pareil qui, par une cause
« quelconque, durcit sous l'action de la trempe, sera appelé
« ACIER FONDU (*Ingot-steel*, anglais; *Fluss-stahl*, allemand). »

« Signé LOWTHIAN BELL, Dr HERMANN WEDDING,
« P. TUNNER, R. AKERMAN, A. L. HOLLEY,
« T. EGLESTON, L. GRUNER. »

Je ferai suivre ces propositions de quelques courtes observations personnelles :

1° Au sujet de ce membre de phrase ; « *comprenant les éléments ordinaires de ce métal* (*with its ordinary ingredients*) », je ferai remarquer que la Commission a entendu exclure par là de sa définition les alliages spéciaux, contenant autre chose que les éléments *habituels* du fer et de l'acier. Ainsi, lorsque le fer renferme une proportion sensible de chrome, de tungstène, de phosphore, etc., on devra se servir des termes de fers ou d'aciers *chromé*, *wolframisé*, *phosphoré*, ou d'aciers au *chrome*, au *tungstène*, au *phosphore*, etc.

2° La commission internationale ne s'est préoccupée que des *types*, c'est-à-dire de ce qui est du *fer doux* proprement dit et de l'*acier* proprement dit.

Mais ces types n'excluent pas les passages, ou produits intermédiaires, tels que le *fer dur aciéreux* entre le fer et l'acier, ou l'acier *sauvage* (Wildsthal) et l'acier *moulé* entre l'acier proprement dit et la fonte.

3° Les noms proposés doivent être considérés comme des noms de *genre* qui, loin d'exclure, appellent plutôt les noms *spécifiques*, chargés de faire connaître les usages, les qualités spéciales, les procédés de fabrication, etc.

On distinguera donc nécessairement les *fers* **soudés** *au bois*, et les *fers* **soudés** *au coke*, ou les fers affinés *au bois* et les fers *puddlés ;* de même, on distinguera toujours, parmi les aciers **soudés**, les aciers de *forge*, les aciers *naturels*, les aciers *puddlés*, les aciers *corroyés*, etc. ; et, parmi les aciers et fers doux **fondus**, les aciers et fers doux *Bessemer* ou *Martin-Siemens*, etc., les aciers *fins* ou *aciers au creuset*, etc., les aciers fondus *doux*, *mi-durs*, *durs*, etc., les aciers pour *ressorts*, pour *limes*, pour *outils*, etc., etc.

Mais ces noms *spécifiques* devraient toujours être subordonnés aux noms *génériques* ci-dessus définis.

MÉMOIRE

SUR

LA LOCOMOTIVE A ADHÉRENCE TOTALE

ET A ESSIEUX CONVERGENTS DE M. RARCHAERT

Par M. MASSIEU, ingénieur des mines, professeur à la Faculté des sciences de Rennes.

A la fin du mois de janvier 1873, arrivait à Fougères une locomotive articulée de l'invention de M. Rarchaert, et en même temps j'étais chargé par l'administration, comme ingénieur du contrôle, de suivre les essais auxquels cette machine devait être soumise.

La locomotive fut d'abord soumise à un essai de parcours de 58 kilomètres, pendant lequel elle se comporta bien à tous les points de vue, en marchant à une vitesse moyenne de 40 kilomètres à l'heure, et en dépassant même, à certains moments, celle de 50 kilomètres, sur des rampes de $0^m,015$ par mètre et dans des courbes de 250 mètres de rayon.

A la suite de cet essai, la machine fut employée à la traction des trains de matériaux pendant la deuxième quinzaine de février, le mois de mars et les premiers jours d'avril.

Après diverses difficultés, M. Rarchaert obtint de la compagnie l'autorisation d'employer sa machine à la traction des trains réguliers, en la faisant conduire par un mécanicien et un chauffeur de ladite compagnie, qu'il payait d'ailleurs de ses deniers, condition qu'il trouva, à juste titre, fort rigoureuse et qui, au bout d'un mois de

serv gulier, l'amena à désirer que les essais prissent

... machine cessa en effet son service le 9 mai, après ... visite que je fis sur la ligne; elle avait effectué un p...cours total de 4.349 kilomètres et avait, sans accident, satisfait à tous les besoins de la traction. Elle a été depuis employée sur le chemin d'Orléans à Châlons.

Pendant le temps des essais, j'ai fait suivre par M. Bouvier, garde-mines attaché à mon service, et j'ai suivi moi-même la locomotive de M. Barchaert; j'ai fait ensuite démonter les pièces qui, par leur nature et leur mode de fonctionnement, me paraissaient exposées à des fatigues particulières; enfin, pour être sûr d'apprécier avec certitude certains détails de la construction qui pouvaient m'échapper, j'ai prié M. Caisso, directeur des ateliers des chemins de fer de l'Ouest, à Rennes, de vouloir bien examiner la machine avec moi et de me donner ses appréciations.

Les études auxquelles je me suis livré à propos de cette machine ont fait d'abord l'objet d'un premier rapport en date du 3 décembre 1873. Peu de temps après, M. Bouvier, mon garde-mines, à la suite d'indications qu'il avait recueillies dans ses tournées, me fit remarquer que je n'avais pas examiné d'une façon assez nette et complète comment la machine pouvait se comporter en franchissant les irrégularités que la voie présente accidentellement; en revoyant, à cette occasion, mon premier rapport, je reconnus qu'il y avait utilité à le compléter sur plusieurs points et même à y apporter quelques rectifications. D'autre part, une sorte de discussion contradictoire engagée par lettres avec l'inventeur, principalement sur la meilleure forme à donner à la bielle centrale de transmission, acheva de me décider à faire un second rapport, qui fut soumis en même temps que le premier à la commission des règlements et inventions concernant les chemins de fer. Dans toutes

ces études, assez complexes comme on le verra, M. Bouvier m'a prêté un concours très-utile et très-compétent qu'il n'était que juste de ma part de signaler ici.

La commission des inventions, à la suite d'un rapport de M. Callon, le dernier peut-être qui soit sorti de la plume de cet ingénieur si justement regretté, voulut bien proposer à l'administration de faire insérer, malgré leur étendue, mes deux rapports *in extenso* à la fois dans les *Annales des mines* et dans les *Annales des ponts et chaussées.*

La commission des *Annales des mines*, à qui ces rapports furent d'abord transmis, m'invita à les fondre en un seul mémoire; c'était me demander un nouveau travail assez long, attendu que, pour avoir toute son utilité, cette refonte devait me conduire à un remaniement complet de mes deux rapports, que je n'hésitai pas cependant à entreprendre; mais, comme il arrive toujours, en refaisant une nouvelle étude de la machine Rarchaert, j'ai reconnu que sur certains points la première pouvait être notablement perfectionnée. Toutefois j'ai cherché à ce que ma nouvelle rédaction s'éloignât le moins possible de celle qui avait été approuvée par la commission des inventions.

Les divisions principales adoptées dans ce mémoire sont les suivantes :

1° Examen succinct des procédés employés jusqu'à ce jour pour faciliter le passage des locomotives dans les courbes, avec utilisation plus ou moins complète de l'adhérence que peut fournir leur poids total;

2° Description de la machine;

3° Étude de la machine au point de vue cinématique; examen des conditions dans lesquelles elle peut franchir les courbes et les irrégularités de la voie ;

4° Étude de la machine au point de vue dynamique, examen des causes qui peuvent altérer sa stabilité ;

5° Comparaison de la machine Rarchaert avec d'autres

machines employées sur les lignes secondaires; — résultats des essais;

6° Examen des objections contre l'emploi d'une bielle de transmission unique et droite;

7° Résumé et conclusion.

Faisons remarquer, en terminant ces préliminaires, qu'il s'agit surtout, dans ce mémoire, d'apprécier la locomotive de M. Barchaert, non comme machine à vapeur, mais comme véhicule apte à passer dans des courbes plus ou moins serrées, avec utilisation pour l'adhérence de la totalité de son poids; cette distinction est importante, car le véhicule peut être bon et la machine qu'il porte médiocre dans sa construction, et c'est, selon moi, ce qui s'est présenté dans l'espèce. Par suite, il y aura lieu d'examiner à laquelle des deux parties de l'appareil il faut rapporter certains résultats relativement défectueux.

CHAPITRE Ier.

Examen succinct des procédés employés jusqu'à ce jour pour faciliter le passage des locomotives dans les courbes avec utilisation plus ou moins complète de l'adhérence.

Le résumé qui suit est extrait, en substance, de l'excellent ouvrage de M. Couche sur le matériel roulant des chemins de fer; il n'apprendra rien de nouveau aux personnes familiarisées avec ce matériel, mais il était nécessaire pour faciliter au lecteur les moyens d'apprécier le mérite de l'invention de M. Barchaert.

Le problème dont je me propose de faire un historique rapide n'intéresse pas, à vrai dire, les grandes lignes, qui, en France principalement, ont été établies dans des conditions très-larges, mais aussi souvent onéreuses, au point de

vue des courbes et des rampes. Sur ces lignes, la circulation a dépassé bien vite toutes les prévisions; quelques-unes d'entre elles peuvent être déjà considérées comme encombrées, et les grosses dépenses de premier établissement doivent être d'autant moins regrettées qu'elles ont réduit dans une proportion très-considérable les frais de traction et d'entretien du matériel comme de la voie.

Ce qu'on a fait pour les grandes lignes a donc été bien fait; mais quand on est arrivé à l'exécution des lignes secondaires, ne pouvant aspirer qu'à un trafic restreint, il a fallu changer de système, par la raison que les intérêts et l'amortissement de grosses dépenses de premier établissement, ainsi que les frais d'exploitation, n'auraient pas été généralement couverts par les recettes. D'autre part, pour étendre les réseaux à tous les points un peu importants du territoire, on se trouvait dans la nécessité d'effectuer des tracés dans des régions beaucoup plus accidentées que celles qui avaient été d'abord exclusivement choisies pour le passage des lignes principales. Il fallait, en renonçant nécessairement aux grandes vitesses, admettre des tracés à courbes de faible rayon et à pentes très-notables; la configuration topographique et les raisons d'économie concouraient à imposer ce genre de solution, dont il y a lieu de se préoccuper d'autant plus que les conseils généraux paraissent disposés à user et même à abuser largement du droit, que leur a conféré une loi récente, de donner des concessions de lignes de chemins de fer.

Il faut espérer encore qu'on n'introduira pas sur les lignes qui sont vraiment d'intérêt général des tracés partiels qui, par leur insuffisance, compromettraient les intérêts les plus sérieux de la circulation; mais il est d'autre part incontestable qu'il faut aussi se pourvoir d'un matériel qui puisse permettre l'exploitation des lignes secondaires, lesquelles, surtout dans les pays montagneux, ne peuvent admettre que des tracés très-accidentés.

Si nous laissons de côté les voies toutes spéciales qui desservent certaines usines, n'ont qu'une faible longueur et sont d'ailleurs affectées à des transports tout particuliers, si nous nous bornons, par suite, à rechercher le moyen le plus simple de faire arriver, en un point quelconque du territoire, un wagon chargé à Marseille où à Paris, nous devrons reconnaître qu'il faut, pour l'établissement des lignes les plus accidentées, s'arrêter au point où le matériel cesserait de pouvoir circuler. Ce matériel passerait à faible vitesse dans des courbes de 150 mètres et, à la rigueur, de 100 mètres de rayon.

La question pour les locomotives est sensiblement différente : il suffit, en principe, qu'elles puissent circuler dans les courbes où passent les wagons; mais en pratique et dans l'intérêt de la conservation de la voie, cela ne suffit pas; il faut qu'elles y circulent assez facilement : or les tracés dont nous nous occupons offrent presque toujours à la fois des courbes serrées et de fortes pentes, d'où résulte l'obligation d'utiliser complétement, ou à peu près, l'adhérence que peut fournir le poids total de la machine. Cette machine est toujours, d'ailleurs, notablement plus longue qu'un véhicule ordinaire; elle a besoin, pour les cas extrêmes que nous avons en vue, d'avoir une flexibilité toute particulière, permettant l inscription de ses roues dans les courbes où elle doit circuler. La question est donc complexe, et depuis longtemps les constructeurs se sont attachés à réaliser séparément tantôt l'adhérence totale, tantôt la flexibilité, en sacrifiant, suivant les cas, l'une de ces deux conditions à l'autre. Parmi ceux qui ont tenté de les réaliser toutes les deux à la fois, je suis porté à croire que M. Rarchaert doit occuper un des premiers rangs.

Il faut remarquer, d'ailleurs, que, même sur les grandes lignes, il est bon que les machines aient une certaine flexibilité pour la circulation dans les courbes qu'on rencontre toujours, et surtout pour l'entrée dans ces courbes à la

sortie des alignements droits. Dans l'un et l'autre cas, les machines sont soumises à des réactions d'inertie très-énergiques dont elles ne triomphent pas brusquement sans inconvénients pour elles et pour la voie.

1° *Moyens propres à faciliter le passage dans les courbes sans convergence des essieux et en utilisant toute l'adhérence.*— Ce mode de solution est nécessairement imparfait, puisqu'il ne satisfait qu'à une des conditions du problème, et il se réduit à certains tempéraments apportés à la rigidité du système. Dès qu'on veut, en effet, utiliser toute l'adhérence en n'ayant qu'une seule paire de cylindres moteurs, on est obligé, avec les dispositions ordinaires, d'accoupler tous les essieux, ce qui empêche de leur donner aucun jeu pour leur convergence; mais on peut leur laisser un certain jeu dans le sens de leur longueur, sans fatigue notable pour les bielles d'accouplement, surtout lorsque ces bielles se composent de deux parties convenablement articulées près de la manivelle de l'essieu du milieu (nous supposons ici le cas le plus fréquent en France de trois essieux).

Le jeu longitudinal d'un ou de plusieurs essieux adoucit en outre dans tous les cas, d'une façon heureuse, l'entrée dans les courbes et ménage à la fois la voie et les bandages des roues; ainsi, dans toutes les machines du chemin de fer d'Orléans, l'essieu d'avant possède un jeu longitudinal.

Mais ce jeu, pour ne pas rendre la marche de la machine trop incertaine, doit être contenu par une résistance qui tende à ramener l'essieu à sa position normale avec d'autant plus d'énergie, autant que possible, qu'il s'est davantage écarté de cette position. C'est ce rôle que remplissent différents mécanismes particuliers, et, entre autres, l'appareil Caillet, les osselets de Polonceau, et, surtout en France, les plans inclinés supportant les chandelles des res sorts de suspension; signalons encore, comme ayant le

même but, la disposition de M. Beugnot, consistant à conjuguer deux essieux au moyen d'un levier oscillant et appliqué sur de grosses machines du chemin de fer du Nord.

Avec le simple déplacement longitudinal des essieux, des machines à six roues accouplées peuvent circuler régulièrement, d'après M. Couche, dans des courbes de 200 mètres de rayon; mais, ajoute ce savant ingénieur, il y a des circonstances où il importe de descendre plus bas encore et où l'abaissement du rayon à 150 mètres, par exemple, au lieu de 200, aurait une très-grande influence sur l'économie de la construction; les solutions précédentes sont donc encore trop loin du but, dont il faut au moins se rapprocher beaucoup, si l'on ne veut rien sacrifier des garanties de sécurité et si l'on tient à ménager la voie comme les bandages des machines.

On a essayé de résoudre le même problème en supprimant les boudins des roues du milieu; mais il fallait alors renoncer à la conicité si utile des bandages, sous peine de voir cette conicité fonctionner à contre-sens, et, d'autre part, on sacrifiait, dans ces boudins, des appareils de sécurité précieux qui contribuent pour une large part à prévenir les déraillements et qui en atténuent les conséquences lorsqu'ils se produisent; il faut donc, dit M. Couche, se garder de supprimer les boudins des roues du milieu; *tout* ce qu'on peut faire, c'est de les amincir, et, en fait, on a renoncé à cette suppression.

On a eu recours, en particulier sur le chemin de fer de Vitré à Fougères, à une solution encore plus radicale, en supprimant les roues du milieu elles-mêmes et en revenant aux machines à quatre roues. Les opinions paraissent assez partagées sur les garanties de sécurité qu'offre cette disposition, tant pour le cas d'un déraillement des roues d'avant que pour celui de la rupture d'un essieu. Bien que les trois machines de ce type, que possède la compagnie

de Vitré-Fougères, et qui sont d'une excellente construction, aient fait depuis six ans un très-bon service, je ne saurais trouver, pour mon compte, qu'elles satisfassent à toutes les conditions de sécurité sur lesquelles il est bien difficile de transiger; leur foyer se trouvant placé entre les deux essieux, les conséquences d'une rupture d'essieu ou d'un déraillement pourraient être beaucoup plus graves qu'avec une machine à six roues. En outre, avec un poids total de 21 tonnes, elles n'ont qu'une puissance de traction relativement assez faible, tout en chargeant l'essieu d'avant de 11 tonnes, ce qui est beaucoup pour les rails de faible équarrissage des chemins de fer économiques. Je dois dire, du reste, que la compagnie de Vitré-Fougères n'a pas fait construire de nouvelles machines de ce type.

Ainsi, tous les procédés que nous venons de rappeler ne sont que des tempéraments qui ne sauraient suffire dans les courbes très-serrées de 150 et même de 100 mètres, qu'on sera vraisemblablement conduit à adopter dans les tracés d'un assez grand nombre de lignes secondaires, où l'on devra aborder souvent encore, soit à l'intérieur des gares, soit pour les changements de voie, des rayons de 50 mètres. Ces procédés ont adouci, dans une mesure notable, il est vrai, ce qu'il y avait de trop rigoureux dans les locomotives rigides; mais ils sont loin d'avoir donné aux machines la flexibilité dont le besoin se fait de plus en plus sentir, et pour laquelle on a sacrifié une partie de l'adhérence dans les dispositions que nous allons succinctement rappeler au paragraphe suivant.

2° *Systèmes qui réalisent plus ou moins complétement la convergence des essieux, mais à adhérence incomplète.* — Parmi ces systèmes, le plus ancien et le plus employé est celui de la machine américaine, laquelle, comme véhicule, est une modification du wagon américain; mais elle est notablement moins flexible que ce dernier, et elle ne peut

circuler, pour des distances données d'entre-axes, que dans des courbes dont le rayon ne descend pas au-dessous d'une certaine limite. Au point de vue de la flexibilité et de la convergence des essieux, la machine américaine est donc bien plus imparfaite que le wagon américain, et nous devons d'autant plus rappeler cette différence que la locomotive de M. Rarchaert a toutes les propriétés du wagon américain pour le passage des courbes, et que par suite elle est supérieure à la machine américaine, d'une part sous le point de vue dont on vient de parler, et d'autre part parce qu'elle est à adhérence totale.

Le wagon américain est porté par deux trucks, chacun à deux essieux parallèles et à quatre roues, ABCD et A'B'C'D' (Pl. IV, *fig.* 1); la caisse repose sur ces deux trucks au moyen de chevilles ouvrières *o* et *o'* fixées à leur centre de figure et convenablement entretoisées avec les châssis qui relient les essieux de chaque truck.

Pour que le véhicule puisse circuler dans une courbe, il suffit que les roues de chacun des deux trucks rigides puissent s'inscrire dans cette courbe; les trucks tournent librement au-dessous de la caisse et autour des deux chevilles ouvrières; l'axe *ll* de la caisse se place sur la corde *oo'* du cercle moyen *mm*, ou plutôt, par suite du jeu de la voie et du fonctionnement de la conicité des bandages, d'un cercle très-voisin. En conséquence, l'axe transversal *pp* du véhicule est toujours normal à la voie; il en est de même des axes transversaux *qq* et *q'q'* des deux trucks. En principe, tant que les roues de chaque truck, dont les essieux sont toujours très-rapprochés, peuvent s'inscrire dans la courbe, et tant que les attelages des différents véhicules ne sont pas pratiquement trop obliques, la voiture peut circuler.

Les conditions sont bien différentes pour la machine américaine : les essieux de l'un des trucks, ABCD par exemple, reçoivent directement l'action motrice des cylin-

dres et doivent être liées rigidement à ces cylindres, ainsi qu'à la chaudière et au châssis général. Par suite, le truck ou chariot ABCD perd la liberté de s'orienter au-dessous du système formé par cet ensemble qui remplace dans la machine la caisse et le châssis du wagon; autrement dit la cheville ouvrière *o* disparaît, et la locomotive américaine n'est plus qu'une locomotive ordinaire dont l'essieu antérieur est remplacé par le truck à quatre roues A'B'C'D'.

Il résulte de là d'abord que, lorsque l'axe transversal *qq* du train moteur ABCD (Pl. IV, *fig.* 2) est normal à la voie, la cheville ouvrière *o'* du train libre A'B'C'D' ne peut plus se placer sur la courbe moyenne *mm* et qu'elle se trouve nécessairement en un point *o''* du prolongement de la corde *ab* de cette courbe; et si la distance de ce point *o''* à la courbe *mm* devient trop grande, si elle dépasse le demi-jeu de la voie, l'inscription du truck libre, dont *o''* est le centre, cesse d'être possible, et l'on atteint encore assez vite, soit pour la distance *oo''*, soit pour le rayon de la courbe, une limite qui ne peut plus être dépassée, même en supposant que l'axe longitudinal du châssis et du train moteur se rapproche de la corde *oo'* et que, par suite, l'axe transversal *qq* s'éloigne de la position radiale autant que le permet le jeu de la voie.

Ces considérations sont, du reste, tellement connues, qu'elles auraient été déplacées dans ce rapport s'il n'y avait eu un grand intérêt à faire ressortir un des mérites saillants du système de M. Rarchaert, qui a pu donner à sa locomotive toute la flexibilité du wagon américain; ce qui est un progrès incontestable, même au point de vue seulement de la circulation dans les courbes, sur la machine américaine, dans laquelle cette flexibilité n'a été que très-partiellement conservée. L'invention de M. Rarchaert, comme on le verra, revient à la solution du problème suivant : ***Transmettre aux essieux des deux trucks du wagon américain le travail moteur d'une seule paire de cylindres,***

sans diminuer la liberté d'oscillation en plan de ces trucks, et en utilisant totalement, pour la traction, leur adhérence sur les rails.

M. Couche fait remarquer que la machine américaine ne convient pas aux grandes vitesses, même sur une bonne [illegible] e [illegible] suite de la faible charge de l'avant-train et de ses [illegible] s autour de la cheville ouvrière ; elle ne convient pas non plus aux petites vitesses par la raison que son adhérence est incomplète : c'est donc essentiellement une machine de vitesses moyennes. La locomotive de M. Rarchaert étant bien plus flexible que la machine américaine et ayant tout son poids adhérent et ses deux trucks également chargés, devra donc, sous ce rapport, convenir pour les vitesses faibles et moyennes ; elle ne conviendrait pas, il est vrai, pour de grandes vitesses, mais elle n'est pas faite pour cela ; c'est un mérite qu'il faut d'autant moins lui demander qu'il ne servirait à rien pour les voies à courbes serrées auxquelles elle est destinée, voies sur lesquelles je n'imagine pas qu'on puisse jamais circuler à de grandes vitesses sans danger, quels que soient les moyens de traction que l'on pourra inventer.

Mais continuons, très-rapidement toutefois maintenant, la revue des procédés employés ou essayés pour la solution du problème qui nous occupe ; nous laisserons de côté les modifications qui ont été apportées en Angleterre aux machines américaines, sans d'ailleurs en changer les conditions essentielles, et nous nous bornerons à dire quelques mots des machines à train de Bissel.

L'avant-train des machines américaines est exclusivement porteur, et en l'articulant au châssis général par une cheville ouvrière placée à son centre ou à peu près, on atteint assez vite, comme nous l'avons vu, la limite de courbure de la voie ou de longueur de la machine, au delà de laquelle cet avant-train ne pourrait plus s'inscrire entre les rails. Le système de Bissel fait disparaître théorique-

ment cet inconvénient et est un retour à la flexibilité du wagon américain ; son principe est excessivement simple : considérons deux trucks rigides à essieux parallèles ABCD, A'B'C'D' (Pl. IV, *fig.* 3) comme ceux des wagons américains et dont les axes transversaux qq et $q'q'$ ont une position radiale, c'est-à-dire vont passer par le centre de la courbe que forme la voie ; les axes longitudinaux de ces deux trucks placés sur les cordes ab et $a'b'$ de la courbe moyenne iront se rencontrer en un point o'' dont la position est déterminée, en vertu d'une propriété élémentaire des sécantes à un même cercle, par la relation

$$O''a \times O''b = O''a' \times O''b',$$

de sorte que si l'on articule le train porteur A'B'C'D' au train moteur ABCD non plus au centre o' du premier de ces trains, mais au point o'', ces deux trains s'inscriront dans les courbes avec la même facilité que ceux d'un wagon américain.

Toutefois, à supposer que l'on pût toujours articuler les deux trains par une cheville ouvrière placée au point o'' dont nous venons de déterminer la position, il faudrait faire reposer la chaudière et le châssis sur le train porteur au moyen de platines ou de tout autre système de surfaces glissantes, pour laisser à ce train toute la liberté nécessaire de se déplacer sous le châssis et de s'inscrire correctement entre les rails; et encore l'axe de ce châssis resterait dirigé suivant la ligne ao'' et non suivant la corde oo'; le châssis chargerait beaucoup plus les roues extérieures que les roues intérieures du train porteur; on aurait donc rendu au système la flexibilité du wagon américain, mais non sa symétrie, et enfin l'adhérence resterait toujours incomplète.

Je passerai entièrement sous silence les artifices par lesquels on a éludé la nécessité de placer l'articulation des

deux trains au point o'' et ramené plus ou moins heureusement la charge vers le centre du train porteur. Je ne dirai rien non plus de l'emploi des essieux à boîtes radiales qui n'ont pu être employées que dans le cas d'une adhérence incomplète, pas plus que du système articulé de M. Arnoux, qui ne s'est pas, que je sache, répandu en dehors de la petite ligne de Paris à Sceaux, où il avait pris naissance.

3° *Tentatives faites pour réaliser à la fois l'adhérence totale et la flexibilité de la locomotive, c'est-à-dire la convergence de ses essieux.* — La question de l'adhérence totale et de la convergence des essieux fut nettement posée, pour la première fois je crois, à l'occasion du passage du Semmering, où il s'agissait de franchir des courbes de 190 mètres de rayon avec des rampes de $0^m,025$; on partit de ce principe qu'il fallait diviser les essieux en deux groupes pouvant converger; le problème à résoudre était donc le suivant : *Transmettre le mouvement de rotation d'un essieu à un autre faisant avec le premier un angle variable*, l'accouplement ordinaire étant conservé pour les essieux de chaque groupe.

Ce problème, dit M. Couche, attend encore une solution simple et pratique; voyons, rapidement toutefois, quelles tentatives ont été faites pour le résoudre avant M. Rarchaert.

Au concours du Semmering en 1851, le prix fut donné à la machine *Bavaria* de M. Maffeï : c'était une machine américaine; le train moteur placé à l'arrière était accouplé avec l'avant-train, sur l'axe longitudinal de la machine, par des chaînes Galle sans fin s'enroulant sur des hérissons calés au milieu des essieux voisins des deux trains; le train moteur était en outre relié par le même procédé au premier essieu du tender dont l'adhérence se trouvait par suite également utilisée; mais les chaînes de transmission, ainsi que les dents des hérissons, s'usaient très-vite et le

système de M. Maffeï fut bien vite abandonné, ainsi que les variantes dont il a été l'objet.

La machine Engerth, telle qu'elle a été primitivement construite, revenait au système de Bissel, c'est-à-dire à l'emploi de deux trucks ou trains réunis par une cheville ouvrière placée de façon à permettre la libre inscription des deux trains. Le train d'avant, à six roues accouplées, était lié rigidement au châssis et à la chaudière; c'était le train moteur auquel était transmis directement le travail recueilli par les pistons. Le train d'arrière n'avait que deux essieux entre lesquels venait se placer, avec un jeu suffisant, le foyer de la chaudière; il servait aussi de tender. Pour utiliser l'adhérence de cet arrière-train, on le reliait au train moteur par un système d'engrenages fort compliqué et qui n'a pas mieux réussi que les chaînes de la machine *Bavaria*.

Les machines Engerth se sont répandues sur plusieurs réseaux français, mais avec une modification qui en détruisait le principe en sacrifiant l'accouplement des deux trains et en renonçant par suite à l'adhérence totale. Ainsi transformées, les machines Engerth, grâce à leur chaudière très-longue et très-puissante, conviennent encore pour des profils qui ne sont pas trop accidentés et pour des vitesses assez grandes; mais elles cessent de répondre convenablement aux besoins de la traction à petite vitesse sur de fortes rampes; car il est fâcheux alors de sacrifier même $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$ de l'adhérence totale que peut fournir la machine, et en résumé, on peut dire que la machine Engerth n'a pas résolu, plus que le système de la machine *Bavaria*, le problème de l'adhérence totale combinée avec la convergence des groupes d'essieux, problème dont nous cherchons en ce moment à faire un rapide historique.

M. Finck, dans la machine Steïerdorf, a cherché un mode d'accouplement des deux trains par de simples bielles; en voici le principe :

A (Pl. IV, *fig.* 4) est le dernier essieu du train d'avant qui reçoit l'action des pistons, B est le premier essieu du train d'arrière monté sur des roues de même diamètre que A. Il s'agit d'accoupler les deux essieux A et B en leur laissant la liberté de faire entre eux un angle variable, qui est nul d'ailleurs en alignement droit.

A cet effet, un faux essieu ou essieu intermédiaire C est relié à l'essieu A par des tirants *t*, qui maintiennent constante la distance des axes de ces essieux; le mouvement est transmis de A en C par une bielle *l* égale à *t* en longueur, et par des manivelles aussi égales A*m* et C*n*. Le faux essieu C, placé au-dessus de l'essieu B, est supporté par deux poteaux *p* qui s'appuient sur l'essieu B; le faux essieu C transmet le mouvement à l'essieu B au moyen de bielles *l'* égales à la longueur des poteaux *p* et de manivelles égales C*n* et B*r*. Les poteaux *p*, verticaux en alignement droit, peuvent s'incliner vers l'avant ou l'arrière de la chaudière en tournant autour de leur base, c'est-à-dire autour de leur point d'articulation avec l'essieu B. En courbe, l'essieu B ne restera plus parallèle à l'essieu A; il s'en écartera du côté de l'arc extérieur et s'en rapprochera du côté de l'arc intérieur. Du premier côté, la tête ou partie supérieure du poteau *p* correspondant s'inclinera vers l'avant de la machine; du deuxième côté, la tête de l'autre poteau *p* s'inclinera vers l'arrière; les axes A et C resteront parallèles et feront un même angle avec l'axe B; le faux essieu C, tout en restant horizontal, s'abaissera d'autant plus que le rayon de courbure de la voie sera plus petit. La transmission du mouvement de A en B sera toujours assurée par l'intermédiaire de C, parce que les trois manivelles A*m*, C*n* et B*r* ne cesseront pas d'être parallèles, ce qui tient à ce que les distances *t* et *l* d'une part et *p* et *l'* d'autre part, restent toujours égales entre elles.

Cette solution n'est pas rigoureusement géométrique. ainsi que le fait observer M. Couche, parce que les diffé-

rentes pièces articulées que nous venons de décrire ne sont pas dans un seul et même plan vertical; il en résulte que les longueurs des bielles *l* et *l'* devraient varier un peu en courbe avec l'angle des essieux A et B. Pour l'angle maximum, ajoute le même ingénieur, les bielles *l* devaient subir une variation de longueur de $0^{mm},18$ et les bielles courtes *l'* une variation de $1^{mm},1$. Ces écarts développaient de grands efforts et exigeaient par suite l'emploi de pièces d'un équarrissage excessif eu égard à leur travail utile. Nous avons dû insister sur le dispositif de la machine Steïerdorf, et en particulier sur les variations dont il vient d'être parlé, parce que nous retrouverons, mais à un bien moindre degré, la même imperfection de principe dans la machine de M. Rarchaert.

Le système de la locomotive Steïerdorf ne s'est d'ailleurs pas propagé, et il n'aurait été construit en tout, d'après M. Couche, que trois machines de ce type; on peut en dire autant d'un système à faux essieu oscillant d'abord proposé par M. Kirchweger et auquel l'auteur lui-même a renoncé.

Je n'ai pas non plus à parler, autrement que pour mémoire, d'un premier système proposé par M. Rarchaert lui-même, et qui a été décrit en détail dans un rapport de M. Couche (*Annales des mines*, 6ᵉ série, tome IV, page 91); ce système comportait un ensemble très-compliqué de bielles et de leviers oscillants, qui vraisemblablement auraient fouetté d'une façon très-fâcheuse pendant la marche; il n'a pas été exécuté.

Tous ces systèmes d'accouplement, au moyen de bielles, d'essieux susceptibles de converger cherchaient la solution dans l'emploi de bielles placées latéralement des deux côtés du châssis, et aucun d'eux n'a pu entrer, comme on vient de le voir, dans la pratique.

Dans une notice jointe au dossier, M. Rarchaert indique qu'à la suite des critiques adressées à son système de le-

viers o[illegible]lants, il a pensé qu'il fallait attaquer le problème *par le centre des essieux* dans l'axe longitudinal de la machine ; c'est ce qu'il a fait effectivement dans la machine soumise aux essais. Il s'agit alors de résoudre un problème tout différent : celui de l'accouplement de deux essieux convergents au moyen d'une bielle unique et *sans points morts*. Nous verrons tout à l'heure jusqu'à quel point M. Rarchaert a été précédé dans cette voie par d'autres inventeurs.

En terminant cette revue historique, je dois faire remarquer que je n'ai pas à m'occuper des systèmes convergents à deux trains qui, avec une chaudière unique, admettent des cylindres spéciaux portés par chacun de ces trains. Ces systèmes sont étrangers à la question qui nous occupe. Ils offrent d'ailleurs des inconvénients particuliers pour la disposition des tuyaux de prise de vapeur et d'échappement, et vraisemblablement aussi par le mouvement de lacet que doivent prendre les trains indépendants sous l'influence des réactions d'inertie de l'attirail des pistons.

CHAPITRE II.

Essais d'accouplement par une bielle centrale unique.
Description des dispositions essentielles de la machine Rarchaert.

Ainsi que je le disais en terminant le chapitre précédent, M. Rarchaert a cherché a réaliser l'accouplement des deux trucks ou trains de sa machine, au moyen d'une bielle unique agissant sur les milieux des essieux voisins des deux trucks. Le point délicat à résoudre était le passage ou plutôt la suppression des points morts.

Disons tout de suite que la machine de M. Roy, conçue

dans le même but et qui a fonctionné sur la rampe de la Joliette à Marseille, n'a pas fait faire un pas à la question, et peut-être n'est-il pas inutile d'ajouter quelques mots pour bien faire comprendre comment les causes de son insuccès ne reparaissent pas dans la machine Rarchaert.

La machine Roy avait quatre essieux; les deux essieux du milieu AB et CD (Pl. IV, *fig.* 5) étaient parallèles et accouplés à la manière ordinaire; ils recevaient le travail des cylindres. Les deux essieux extrêmes *mn* et *pq*, à boîtes radiales et libres de converger, étaient conjugués, chacun avec l'essieu voisin, au moyen de bielles centrales *l* et *l'*; or quand on veut transmettre, au moyen d'une bielle unique, le mouvement d'un essieu AB à un *seul* autre essieu *mn*, il se présente nécessairement des points morts, lorsque les coudes des essieux sont horizontaux; ceci est trop élémentaire pour que j'y insiste; mais je montrerai tout à l'heure que si la bielle *l*, supposée entièrement rigide, avait été chargée de transmettre le mouvement de AB à la fois à *mn* et à un deuxième essieu placé symétriquement de l'autre côté (à gauche de la figure) de l'axe AB, *il n'y aurait plus eu de points morts.* Ce n'était pas le cas de la machine de M. Roy, qui souvent refusait de démarrer et ne s'y décidait que violentée par les impulsions d'une autre machine qu'il fallait appeler à son secours.

Le système d'accouplement par une bielle centrale unique paraît, d'après M. Couche, avoir été indiqué pour la première fois par les ingénieurs de l'usine Maffeï dans les études provoquées par le concours du Semmering. Il s'agissait, dit M. Couche, d'utiliser l'adhérence de l'avant-train d'une machine américaine; soient (Pl. IV, *fig.* 6) A et B les deux essieux qu'on voulait accoupler; un faux essieu C était installé sur le bâti de la machine et à égale distance des essieux A et B. Les milieux des trois essieux A, B et C restaient sensiblement à des distances constantes. Le faux essieu C recevait le mouvement de deux manivelles à angle

dro[illegible]e transmettait aux deux essieux, coudés au milieu, A et [illegible], au moyen de bielles médianes *b* et *b'*. Ces bielles avaient des points morts, mais elles n'y passaient pas en même temps ; ainsi, dans la position indiquée par des lignes ponctuées sur la figure, la bielle *b'* est au point mort et ne peut transmettre le mouvement de C à B ; mais la bielle *b* peut le transmettre de C à A, et, si l'on accouple A avec B au moyen d'une troisième bielle *b''*, A entraînera B et lui fera franchir le point mort.

Suivant M. Couche, cette solution paraît n'avoir été qu'indiquée et non réalisée par les ingénieurs de l'usine Maffeï, et, en outre, ces ingénieurs n'auraient eu l'idée de l'appliquer qu'à la machine américaine et non à une disposition équivalente à celle du wagon américain, disposition qui seule maintient l'axe du châssis et de la chaudière dans le plan vertical passant par les centres des deux trains.

M. Couche cite rapidement ensuite le système de M. Rarchaert, qui fait usage aussi d'une bielle triangulaire, et a d'abord exécuté de son mécanisme un modèle en petit ; nous y reviendrons tout à l'heure, bien entendu, avec tous les détails nécessaires. Enfin il signale une solution fondée exactement sur le même principe (les trois bielles ou la bielle triangulaire) et *proposée* par les ingénieurs anglais MM. Dredge et Andrew Stein. J'ignore si ces ingénieurs ont fait connaître leur procédé avant M. Rarchaert et je ne suis pas en mesure de résoudre cette question de priorité, qui n'a d'ailleurs qu'une importance secondaire. En effet, dans la disposition de MM. Dredge et Stein, un des trains portait les cylindres et recevait directement l'action des pistons que le faux essieu et la bielle triangulaire transmettaient ensuite à l'autre train ; on se trouvait donc encore dans un cas analogue à celui de la machine américaine ou de la machine Engerth ; la symétrie de position du châssis et de la chaudière, par rapport aux centres des deux trucks,

n'était pas réalisée, tandis qu'elle l'est dans le système de M. Rarchaert, qui a placé son véhicule dans des conditions de symétrie identiques à celles qu'offre le wagon américain.

Mais, avant de passer à la description de la machine de M. Rarchaert, il nous paraît essentiel d'insister sur les propriétés de la bielle triangulaire dont nous venons de parler et à la forme de laquelle on semble avoir attribué, à tort, un mérite théorique tout particulier ; car si la bielle qui relie le faux essieu aux deux essieux voisins qu'il s'agit d'accoupler, était rectiligne, c'est-à-dire si les trois essieux A, C, B étaient dans un même plan horizontal, elle remplirait théoriquement aussi bien, et même mieux, comme on le verra plus loin, le but qu'on se propose; autrement dit, il importe peu, en théorie, de donner telle ou telle forme à cette bielle, mais seulement de lui donner une rigidité suffisante et de faire qu'elle soit soumise à trois forces au lieu de deux. Nous examinerons plus tard les inconvénients que la bielle droite pourrait avoir dans la pratique; nous en discuterons l'importance, mais nous nous bornerons pour le moment à étudier cette bielle dans son principe.

Considérons (Pl. IV, *fig.* 7) une bielle *b*, accouplant, au moyen de manivelles égales AM et CP, deux axes de rotation parallèles situés dans le même plan horizontal; laissons de côté pour un moment la masse de la bielle; alors elle devra être à chaque instant en équilibre sous l'action des deux forces qui lui sont appliquées à ses extrémités P et M, et l'équilibre exige que ces deux forces soient égales en grandeur et dirigées en sens opposé suivant la bielle elle-même ; autrement dit la bielle ne peut transmettre que des efforts horizontaux qui, lorsqu'elle est en P'M', sont détruits par la résistance des axes C et A ; alors il y a *point mort* et, si l'on veut encore, l'essieu C, supposé moteur, ne pourrait transmettre à l'essieu A, qu'il s'agit d'entraîner, qu'une

force horizontale qui, à partir de la dernière position considérée, ne peut produire qu'un travail élémentaire nul pour un déplacement infiniment petit du système, ce qui ne décide pas le sens du mouvement de A au démarrage. Il en est tout autrement quand on veut accoupler, au moyen d'une bielle MPN unique (Pl. IV, *fig*. 8), mais rigide, trois essieux B, C, A équidistants, parallèles et situés dans un même plan horizontal, ce qui théoriquement réduit la bielle MN à la forme rectiligne. Dans ces conditions, en effet, C étant l'essieu moteur, supposons que l'action qu'il exerce sur la bielle soit une force P*p* tangente en P au cercle PP′ de rayon CP. A chaque instant, la bielle devra être en équilibre sous l'action de cette force P*p* et des réactions des coudes M et N ; nous pouvons remplacer ces réations par leurs composantes, 1° les composantes dirigées suivant la direction de la bielle MN et qui devront se détruire, à supposer qu'elles existent ; 2° les composantes M*m*′ et N*n*′, parallèles à P*p*, qui devront être égales chacune à la moitié de P*p* et dirigées en sens contraire de cette dernière force. Les forces M*m* et N*n*, respectivement égales et opposées à M*m*′ et N*n*′, représenteront donc les actions tangentielles transmises aux deux essieux A et B ; ces actions seront toujours la moitié de l'effort P*p* appliqué à l'essieu C ; et si cet effort n'est jamais nul, ce qui arrivera lorsque C sera mené par deux manivelles rectangulaires, les actions M*m* et N*n* ne le seront jamais non plus, que les manivelles AM et BN soient inclinées ou horizontales ; il n'y aura donc pas de points morts. On voit, par conséquent, que ce qui distingue les transmissions du mouvement, au moyen d'une bielle rigide, à un seul essieu ou bien simultanément à deux essieux, c'est que, dans le premier cas, cette bielle ne peut transmettre les actions qu'elle reçoit que dans le sens de sa longueur exclusivement, et que, dans le second cas, elle peut transmettre des efforts ayant des directions quelconques ; on n'a plus affaire à une simple tige sollicitée

seulement à ses deux bouts, mais à un levier droit actionné en trois de ses points.

Ce qui précède établit clairement, je pense, que la forme triangulaire de la bielle d'accouplement n'a aucune importance en théorie; il faut même ajouter, toujours dans le même ordre d'idées, que dans le cas de la bielle rectiligne, les actions tangentielles reçues par les deux essieux A et B seraient toujours la moitié de la force Pp reçue par l'essieu intermédiaire C; elles seraient donc constantes si cette dernière force était constante elle-même.

Dans le cas où la bielle est triangulaire, une pareille régularité dans la grandeur des efforts transmis *directement* n'existe plus, et, comme on le verra plus loin, il apparaît alors des actions perturbatrices qu'on aurait intérêt à éviter.

Description des parties essentielles de la machine. — La locomotive de M. Rarchaert, considérée comme véhicule, est, ainsi que nous l'avons dit, construite sur le type d'un wagon américain, ce qui n'est pas un des côtés les moins nouveaux du système. Pour en comprendre les principales dispositions, le lecteur devra se reporter aux dessins contenus dans la Pl. VI. La *fig.* 1 de cette planche représente une coupe verticale et longitudinale de la machine, la *fig.* 2 représente la projection horizontale du véhicule et la *fig.* 3 une coupe verticale et transversale faite, moitié au droit de la cheminée et moitié au droit de la cheville ouvrière antérieure.

A la place de la caisse du wagon américain, nous trouvons un bâti général rigide portant toute la partie fixe, c'est-à-dire la chaudière, les cylindres, tout le mécanisme de la distribution et enfin les caisses à eau et à charbon.

La base de ce bâti est formée par deux longerons A, offrant chacun vers leur milieu une plaque de garde *f* entièrement fermée à sa partie supérieure et entretoisée à

sa partie inférieure à la manière ordinaire. Entre ces plaques de garde se trouvent logés les coussinets qui emboîtent les fusées de l'essieu moteur E, lequel est un faux essieu coudé au milieu, ne portant pas de roues et recevant le mouvement des pistons des cylindres moteurs par des bielles et des manivelles calées à angle droit. Des coins de réglage *h* et *h'* permettent constamment d'éviter tout jeu, dans le sens de la longueur de la machine, entre les coussinets du faux essieu et les plaques de garde; ce faux essieu ne peut donc que se déplacer verticalement; nous verrons tout à l'heure comment il est supporté.

Les deux longerons A passent à l'arrière de la machine, sous le cadre du foyer auquel ils sont attachés par un étrier spécial *a* permettant la libre dilatation de la chaudière. Ils sont reliés à la partie antérieure par un caisson en tôle et fers de cornière K; enfin, c'est sur eux, ainsi que sur le caisson dont il vient d'être parlé, que sont solidement boulonnés les cylindres qui sont extérieurs.

Les deux longerons A sont en outre entretoisés par deux traverses D et D', sur lesquelles la chaudière repose par l'intermédiaire de plaques de glissement à dilatation libre, et qui portent en outre les deux chevilles ouvrières R. Enfin, pour assurer aussi invariablement que possible la distance de ces chevilles ouvrières, deux tirants B et B', de 50 millimètres de diamètre, sont boulonnés à la fois sur les deux traverses D, D' et sur les pattes qui fixent les cylindres sur la boîte à fumée.

Ainsi donc, sauf la dilatation laissée libre de la chaudière, le système formé par cette chaudière, par les longerons A, les tirants B, B', les traverses D, D' et enfin les cylindres et le caisson K, constitue un ensemble parfaitement rigide, reposant sur les deux chevilles ouvrières R, qui supportent directement le poids de la chaudière par l'intermédiaire des traverses D, D', de sorte que les longerons A du châssis n'ont pas à supporter d'efforts verticaux un peu

énergiques. En outre, les cylindres étant liés invariablement à la chaudière, l'installation des tuyaux de prise de vapeur n'offre aucune difficulté.

Les chevilles ouvrières supportant ainsi tout l'ensemble rigide, reposent elles-mêmes sur des crapaudines placées au centre de deux trains ou trucks à deux essieux parallèles et à quatre roues accouplées à la façon ordinaire par des bielles reliant des manivelles calées à angle droit sur un même essieu. La distance des deux essieux de chaque truck n'est que de $1^{m},20$, en sorte que leurs quatre roues peuvent s'inscrire facilement dans des courbes de très-faible rayon.

Les crapaudines qui reçoivent les chevilles ouvrières sont fixées chacune sur une des traverses N qui appartiennent aux trains mobiles. Le fond des crapaudines est occupé par un disque en caoutchouc W recouvert d'un disque mince en fer, sur la surface supérieure duquel glisse la cheville ouvrière dans son mouvement de rotation: ce disque de caoutchouc a environ 7 centimètres d'épaisseur et contribue, en dehors des ressorts de suspension que nous allons faire connaître tout à l'heure, à adoucir les mouvements de l'ensemble rigide par rapport aux deux trucks. Le disque de caoutchouc étant en place, les chevilles ouvrières pénètrent encore de 4 à 5 centimètres dans l'intérieur des crapaudines. En outre, les chevilles ouvrières sont traversées par un boulon fixé au centre des crapaudines et dont le but est d'empêcher, en tous cas, ces chevilles ouvrières de sortir des crapaudines.

Ainsi tout l'ensemble rigide, chaudière, etc., n'est supporté que par deux points ou plutôt par deux chevilles ouvrières auxquelles on a dû, par suite, donner une section assez forte; elles ont, en effet, un diamètre de 27 centimètres. L'expérience a montré que ces deux seules bases d'appui aussi étroites suffisaient pratiquement pour la stabilité; il fallait néanmoins limiter les oscillations de roulis

que pourraient prendre le châssis et la chaudière; nous verrons tout à l'heure comment on y est parvenu; mais remarquons encore une fois que tout ce dispositif est bien celui du wagon américain et que la symétrie du système rigide est complétement conservée en tous cas, puisque l'axe de ce système se placera toujours directement au-dessus de la ligne droite qui joint les centres des deux trucks porteurs, c'est-à-dire les chevilles ouvrières.

Arrivons maintenant à ces trucks eux-mêmes. Chaque truck a un châssis formé de deux longerons auxquels la traverse N est rivée et qui, de plus, sont entretoisés par des tirants en croix que l'on voit sur la *fig.* 2. C'est sur ces longerons que sont placées les plaques de garde entre lesquelles les boîtes à graisse des essieux peuvent jouer verticalement, pour obéir aux inégalités de la voie, mais sans avoir aucun jeu de l'avant à l'arrière de la machine.

Les longerons de chaque truck ne supportent ordinairement aucun effort vertical et n'ont qu'à maintenir invariable l'écartement des deux essieux; en effet, la traverse N, qui reçoit la charge en son milieu, la reporte immédiatement par parties égales à ses deux extrémités, qui viennent s'appuyer sur les milieux de deux ressorts de suspension.

Les extrémités de ces ressorts, situés de chaque côté de la machine, reposent sur des mains de suspension terminant, en bas, des pièces de fer verticales reliées, en haut, au-dessous des boîtes à graisse des essieux; ce dispositif assure une répartition aussi égale que possible de la charge de la cheville ouvrière sur chacune des quatre roues du truck; en outre, une vis placée sur la chape de chaque ressort permet d'en régler la position par rapport aux châssis des trucks.

Bien que ces châssis ne portent pas directement le poids de la chaudière et du châssis général, ils peuvent cependant en recevoir accidentellement une certaine partie et limiter, en même temps, le mouvement de roulis du système

rigide. A cet effet, il n'existe qu'un jeu très-faible, de quelques millimètres seulement, entre le dessous des longerons du châssis général et le dessus des longerons des trucks, ce qui limite l'oscillation que peut avoir la chaudière autour de la droite horizontale qui joint les deux chevilles ouvrières. L'expérience a montré que cette oscillation n'a rien de gênant ni d'inquiétant aux vitesses de cinquante et quelques kilomètres, qui ont été atteintes dans les essais. On a pu constater en outre que dans les courbes le roulis disparaît en grande partie et que la machine devient plus stable. La raison de ce fait est très-simple : il n'arrive qu'accidentellement que le dévers de la voie soit rigoureusement en rapport avec la vitesse du train, et que, par suite, la résultante de la pesanteur et de la réaction centrifuge soit rigoureusement perpendiculaire au plan rasant la partie supérieure des deux rails, c'est-à-dire au plan qui forme la base d'appui; alors la chaudière et le châssis général s'inclinent d'un côté ou de l'autre, et ce châssis général vient s'appuyer sur les longerons des trucks, en ne les chargeant, d'ailleurs, que faiblement; le système rigide trouvant ainsi de nouveaux points d'appui perd, en grande partie, le mouvement de roulis qu'il avait en alignement droit.

Arrivons au mécanisme par lequel le mouvement est transmis du faux essieu E aux essieux des deux trucks.

Les deux essieux de chaque truck sont accouplés à la manière ordinaire par des bielles horizontales articulées à des manivelles égales calées sur ces essieux; les manivelles d'un côté sont à angle droit sur celles de l'autre côté. Les deux essieux d'un même truck doivent être, par suite, constamment parallèles, et ce parallélisme est assuré, puisque les boîtes à graisse des essieux n'ont aucun jeu horizontal dans les plaques de garde qui les contiennent. On y aurait, avec avantage, adapté des coins de réglage. C'est donc l'axe transversal de chaque truck passant par

la cheville ouvrière, qui prend régulièrement la position radiale dans le passage des courbes.

L'essieu de chaque truck qui est le plus rapproché du faux essieu présente, en son milieu, un coude formant manivelle et ayant $0^m,250$ de rayon, comme le coude du faux essieu ; une bielle rigide et très-résistante relie ces trois coudes, comme le montrent clairement les figures de la Pl. VI. Cette bielle est représentée en détail sur la Pl. VII. M. Rarchaert l'appelle bielle circulaire ; nous la désignerons sous le nom de *bielle centrale de transmission;* elle est de forme triangulaire, l'axe du faux essieu se trouvant à $0^m,250$ au-dessus des axes des essieux des trucks.

Il nous faut indiquer encore comment le faux essieu E est supporté. La *fig.* 2 de la Pl. VI montre que ce faux essieu a cinq portées engagées dans cinq coussinets, savoir : 1° les deux coussinets extérieurs logés entre les plaques de garde des longerons principaux A ; 2° le coussinet central placé sur le coude du faux essieu E, et portant la bielle de transmission F ; 3° deux coussinets intermédiaires α emboîtés par les supports horizontaux G. Ce sont ces deux supports qui portent le faux essieu E en s'appuyant à leurs extrémités sur les essieux coudés E', E'' des deux trucks, au moyen de coussinets montés sur des portées spéciales de ces derniers essieux.

Les supports G emboîtent, sans aucun jeu, les coussinets α placés sur le faux essieu E ; ils emboîtent également, sans jeu vertical, les coussinets des essieux E' et E'', mais ils ont sur ces derniers un jeu horizontal de l'avant à l'arrière qui permet la convergence des essieux des trucks. Par suite de cette disposition, l'action horizontale des pistons se transmettra toujours régulièrement, puisque le faux essieux E ne peut pas se déplacer de l'avant à l'arrière ; de plus, lorsque les essieux coudés E', E'' prendront un mouvement vertical par suite des inégalités de la voie, le faux essieu E pourra obéir à ce mouvement, puisque ses boîtes

à graisse ont un jeu vertical dans les plaques de garde f des longerons A du châssis principal. Enfin les deux trucks pourront s'orienter au-dessous de la chaudière, et leurs deux systèmes d'essieux pourront converger librement, grâce au jeu horizontal qu'ont les supports G, sur les coussinets par lesquels ils reposent sur les essieux E', E''.

La bielle centrale rigide de transmission F embrasse trois coussinets γ, δ' et δ'' montés sur les coudes du faux essieu E et des essieux E', E''; les parois de ces coussinets qui sont, en avant et en arrière, en contact avec les surfaces correspondantes de la bielle F, appartiennent à des cylindres à axes constamment verticaux passant par les milieux e, e', e'' des axes des portées des essieux E, E', E'' emboîtées dans les coussinets γ, δ' et δ''.

Il résulte de là que la bielle de transmission F, dont tous les points décrivent des circonférences de même rayon et qui par suite n'a, relativement à la chaudière, qu'un simple mouvement de translation circulaire, se trouve dans les mêmes conditions que si elle se trouvait articulée sur les coudes des trois essieux E, E', E'' par des axes toujours verticaux et passant par les points e, e', e''. On peut donc se rendre compte, dès à présent, de ce qui arrivera lorsque la machine se trouvera sur une courbe. Par suite de l'orientation que les rails feront prendre aux deux trucks au-dessous de la chaudière, les deux extrémités e' et e'' de la bielle de transmission seront entraînées vers le rail extérieur d'une manière parfaitement définie; le milieu e de cette bielle devra donc suivre ce déplacement latéral; c'est pour lui permettre d'obéir à cette nécessité que la portée du coude du faux essieux est notablement plus longue que l'épaisseur du coussinet γ qui l'embrasse. Il faut remarquer qu'en outre les distances respectives des trois points e, e', e'' varient nécessairement en principe dans l'inscription en courbe et que, sous ce rapport, la solution n'est pas rigoureusement exacte; mais je montrerai plus loin

que ces variations sont très-faibles et peuvent être pratiquement satisfaites par le jeu des pièces du mécanisme. Réservant donc ce point, je résume ce qui précède en disant que l'orientation de la bielle d'accouplement et son déplacement latéral, envisagés en projection sur un plan horizontal, sont assurés par les dispositions que je viens de décrire. J'ajouterai que si le coussinet central γ de la bielle de transmission a un jeu latéral assez étendu sur la portée du faux essieu E qu'il emboîte, les coussinets extrêmes δ' et δ'' n'en ont aucun sur les portées des essieux E' et E'' qui les reçoivent. Tout ce qui précède sera du reste plus facile à comprendre, quand nous étudierons ce mécanisme en le supposant réduit aux axes des différentes pièces qui le constituent essentiellement.

CHAPITRE III.

Étude de la machine au point de vue cinématique. — Examen des conditions dans lesquelles elle peut franchir les courbes et les irrégularités de la voie.

Ce chapitre a pour but d'examiner : 1° le degré de flexibilité de la machine Rarchaert, ou autrement dit, sa facilité à circuler dans les courbes ; 2° les conditions dans lesquelles elle peut franchir les irrégularités de la voie. Nous étudierons successivement, et avec tous les détails nécessaires, ces deux questions importantes.

1° CIRCULATION DE LA MACHINE DANS LES COURBES.

Lorsque la machine est en courbe, les diverses parties du mécanisme prennent, en projection horizontale, les positions indiquées par la *fig.* 9, Pl. IV, où les diverses pièces sont simplement représentées par leurs axes.

C et C′ sont les deux chevilles ouvrières ; elles sont placées sur une circonférence de cercle CMC′ peu différente de la courbe moyenne de la voie. Les axes de la chaudière et du châssis général se projettent par suite sur la droite CC′.

Les axes longitudinaux CA et C′B des deux trucks sont tangents au cercle CMC′ et viennent se couper en O′, sur la projection du faux essieu. Ce faux essieu est normal à la corde CC′.

Les axes transversaux CR et C′R′ de deux trucks, ainsi que leurs essieux coudés Aa et Bb, sont régulièrement perpendiculaires aux tangentes CO′ et C′O′ au cercle CMC′ ; par suite les axes CR et C′R′ vont passer par le centre de ce cercle.

On voit que les milieux des deux essieux Aa et Bb sont ainsi entraînés vers la convexité de la voie et que le coussinet central de la bielle de transmission doit obéir à ce déplacement latéral ; c'est dans ce but que la portée du coude du faux essieu est beaucoup plus longue que ce coussinet.

Les coudes des deux essieux Aa et Bb décrivent des cercles verticaux dont les centres sont en A et B, et dont les plans ont pour traces horizontales CA et C′B ; quand les coudes des trois essieux sont verticaux, les extrémités et le milieu de la bielle de transmission se projettent respectivement en A, B et H.

Supposons maintenant qu'à partir de cette position, les trois coudes décrivent un angle ω, les extrémités de la bielle de transmission viendront se placer en A′ et B′ ; en désignant par r le rayon des coudes, ou, si l'on veut, des manivelles équivalentes, et par m les projections égales AA′, BB′ des arcs décrits, on aura

$$m = r \sin \omega.$$

Le coude du faux essieu aura tourné du même angle, et, comme son rayon est aussi égal à r, il viendra se pro-

jour su[...] a ligne GI parallèle à OO' et située à une distance [...] à m, de OO'.

[...]u de la bielle de transmission se projettera donc a[...] où la ligne GI rencontre la projection A'B' de cette biel[l]e. En alignement droit, et pour la même inclinaison ω [d]es coudes sur la verticale, ce milieu se projetterait en [...] nous désignerons par h son déplacement latéral GI da[ns le] passage des courbes.

[...] facile de voir maintenant que la solution de [...] n'est pas rigoureusement géométrique; en [...] projettent sur le contour CA'B'C' se [...]eraient, en alignement droit, suivant la droite CC'; elles doivent donc subir dans le passage des courbes un certain allongement, à moins que leurs articulations n'aient un jeu suffisant et admissible en pratique.

Or, les distances AC et BC', moitiés de l'écartement des essieux de chaque truck, ne peuvent varier; car les essieux de chaque truck sont liés dans le sens de l'axe de la machine par des longerons spéciaux, et leurs boîtes à graisse n'ont pas de jeu dans leurs plaques de garde; enfin les chevilles ouvrières C et C' n'ont elles-mêmes aucun jeu dans leurs crapaudines. Les rayons des coudes des essieux Aa et Bb ne peuvent varier non plus; il faudrait donc que ce fût la bielle de transmission qui s'allongeât pour racheter la différence, s'il n'y avait pas de jeu dans les articulations, et théoriquement, il faudrait même que ses deux moitiés A'I et IB' s'allongeassent inégalement pour que son milieu I se trouve constamment sur la portée GI du coude du faux essieu.

Nous désignerons par e_1 et e_2 les allongements que doivent subir les deux portions A'I et IB' de la bielle et par $2e$ leur somme, c'est-à-dire l'allongement total de la bielle.

Nous avons représenté cette bielle sur la *fig.* 9 dans deux positions, correspondant à des positions symétriques des

coudes par rapport à la verticale. Quand les coudes sont verticaux, la bielle est en AB et parallèle à CC′; dans son mouvement, elle s'incline alternativement d'un côté ou de l'autre de cette position moyenne AB, en faisant avec elle un angle ε. Enfin la bielle A′B′ ne sera plus perpendiculaire aux portées des essieux A*a* et B*b* et s'écartera de cette position d'angles O′A′B′ ou θ_1 et O′B′A′ ou θ_2; ces angles passent alternativement par les mêmes valeurs à cause de la symétrie de l'ensemble du mécanisme par rapport à OO′.

En conséquence, nous allons chercher les expressions des quantités suivantes, précedemment définies : h, e_1, e_2, e, ε, θ_1 et θ_2.

On se rappelle d'ailleurs que, grâce au jeu latéral du coussinet central de la bielle sur la portée du coude du faux essieux, et grâce aussi au mode d'articulation, précédemment décrit, du milieu et des extrémités de cette bielle avec ce coussinet central et avec les coussinets extrêmes, les déformations qui répondent aux quantités h, ε, θ_1 et θ_2 sont parfaitement libres et que le système ne peut être exposé à des fatigues particulières que par l'effet des allongements e_1 et e_2 que doivent subir les deux moitiés de la bielle.

Nous ferons les désignations suivantes :

- $2D$. distance CC′ des chevilles ouvrières, égal à $2^m,800$, d'où $D = 1^m,400$
- $2d$, distance des essieux d'un même truck, égal à $1^m,200$, d'où $d = 0^m,600$
- $2l$, longueur de la bielle centrale de transmission, égale à $2D - 2d$ ou $1^m,600$, d'où $l = D - d$. . . . . $l = 0^m,800$
- r. rayon des coudes des trois essieux (ou rayon de manivelle) $r = 0^m\,250$
- α, angles O′CC′ et O′C′C, et 2α l'angle des essieux convergents;
- R, rayon de la courbe moyenne de la voie ou encore du cercle CMC′ qui n'en diffère que d'une façon insignifiante.

Nous donnerons d'abord des formules exactes pour l'expression des quantités que nous voulons calculer, puis nous indiquerons des formules approchées très-suffisantes en pratique, et enfin les formules numériques qui se rapportent à la machine de M. Rarchaert.

FORMULES EXACTES.

1° *Demi-angle α des essieux convergents.* — On a

$$D = R \sin \alpha,$$

d'où

$$\sin \alpha = \frac{D}{R}.$$

2° *Angle ε.* — N étant le point d'intersection des deux droites AB et A'B', les deux triangles ANA' et BNB' donneront

$$\frac{\sin \varepsilon}{m} = \frac{\sin (\alpha - \varepsilon)}{AN} = \frac{\sin (\alpha + \varepsilon)}{NB} = \frac{2 \sin \alpha \cos \varepsilon}{AB};$$

mais on a

$$AB = 2D - 2d \cos \alpha,$$

d'où, en se rappelant que $m = r \sin \omega$,

$$\tang \varepsilon = \frac{m \sin \alpha}{D - d \cos \alpha} = \frac{r \sin \alpha \sin \omega}{D - d \cos \alpha},$$

expression dont le maximum, en valeur absolue, correspond à $\omega = \pm 90°$, c'est-à-dire à la position horizontale des coudes des essieux.

3° *Angles* $\theta_1 = O'A'B'$ *et* $\theta_2 = O'B'A'$. — On a immédiatement

$$\theta_1 = \alpha - \varepsilon \quad , \quad \theta_2 = \alpha + \varepsilon.$$

Les maxima et minima de ces valeurs dépendent de ceux de tang ε trouvés tout à l'heure et sont d'ailleurs les mêmes pour θ_1 et θ_2.

4° *Déplacement latéral* h = GI *de la bielle centrale de transmission.* — On a évidemment :

$$h = GI = FG - FI = d \sin \alpha - FN \tang \varepsilon$$
$$= d \sin \alpha - (FH - NH) \tang \varepsilon;$$

or FH est égal à GO et par suite à m; quant à NH, il est facile d'avoir sa valeur; les perpendiculaires A'p et B'q sur AB sont toutes deux égales à m sin α; par suite, les deux triangles NA'p et NB'q, évidemment semblables, sont aussi égaux; il en resulte que Np = Nq; et, comme Ap = Bq = m cos α, que d'autre part AH et HB sont égaux, on en conclut immédiatement

$$\text{NH} = m \cos \alpha \qquad \text{et} \qquad \text{FN} = m(1 - \cos \alpha),$$

et, par suite,

$$h = d \sin \alpha - m(1 - \cos \alpha) \tang \varepsilon,$$

ou bien, en remplaçant m par r sin ω et tang ε par

$$\frac{r \sin \alpha \sin \omega}{\text{D} - d \cos \alpha},$$

$$h = d \sin \alpha - \frac{r^2(1 - \cos \alpha) \sin \alpha}{\text{D} - d \cos \alpha} \sin^2 \omega;$$

h est donc maximum quand sin ω = 0, c'est-à-dire quand les coudes des essieux sont verticaux.

5° *Allongements* e_1 *et* e_2 *des deux moitiés de la bielle de transmission.* — Calculons d'abord l'allongement total $2e$ que doit subir cette bielle; sa longueur, en alignement droit, est égale à $2\text{D} - 2d$; comme elle doit, en courbe, se projeter horizontalement en A'B' d'une manière générale, on aura donc

$$2e = \text{A'B'} - 2(\text{D} - d);$$

si l'on se rappelle que Ap = Bq, on aura

$$\text{A'B'} = \frac{pq}{\cos \varepsilon} = \frac{\text{AB}}{\cos \varepsilon};$$

mais

$$\text{AB} = 2\text{D} - 2d \cos \alpha;$$

nous avons donc, pour le demi-allongement total de la bielle,

$$e = \frac{D - d \cos \alpha}{\cos \varepsilon} - (D - d),$$

ce qu'on peut écrire encore

$$e = d(1 - \cos \alpha) + (D - d \cos \alpha)\frac{(1 - \cos \varepsilon)}{\cos \varepsilon},$$

expression qui a sa valeur minima, $d(1 - \cos \alpha)$, pour $\varepsilon = 0°$, et sa valeur maxima pour la plus grande valeur que ε puisse prendre.

Nous avons montré tout à l'heure que $Np = Nq$, d'où il résulte que le point N est le milieu de la ligne A'B', et comme les deux moitiés de la bielle se projettent respectivement en A'I et en IB', il en résulte que les allongements e_1 et e_2 de ces deux moitiés ne sont pas égaux, mais que l'on a pour l'allongement e_1 de la moitié de gauche

$$e_1 = e - NI,$$

et, pour l'allongement de la partie de droite,

$$e_2 = e + NI;$$

or

$$NI = \frac{FN}{\cos \varepsilon},$$

et nous avons trouvé $FN = m(1 - \cos \alpha)$, nous aurons donc

$$NI = \frac{m(1 - \cos \alpha)}{\cos \varepsilon},$$

et, par suite, en remplaçant dans les expressions de e_1 et e_2, e par sa valeur précédemment trouvée,

$$e_1 = d(1 - \cos \alpha) + (D - d \cos \alpha)\frac{(1 - \cos \varepsilon)}{\cos \varepsilon} - \frac{m(1 - \cos \alpha)}{\cos \varepsilon}$$

$$e_2 = d(1 - \cos \alpha) + (D - d \cos \alpha)\frac{(1 - \cos \varepsilon)}{\cos \varepsilon} + \frac{m(1 - \cos \alpha)}{\cos \varepsilon}.$$

Il faudrait maintenant éliminer ε de ces formules en faisant usage de la relation précédemment trouvée,

$$\operatorname{tang} \varepsilon = \frac{m \sin \alpha}{D - d \cos \alpha};$$

on arriverait ainsi à des expressions assez compliquées et nous nous contenterons d'examiner tout à l'heure, en faisant usage des formules approchées, les variations que présentent les quantités e_1 et e_2.

FORMULES APPROCHÉES.

Nous allons, dans ces formules, introduire le rayon R de la courbure de la voie comme variable indépendante, et nous allons développer ensuite, en séries ordonnées par rapport aux puissances de la quantité $\frac{D}{R}$, les diverses expressions que nous voulons calculer. $\frac{D}{R}$ ou $\sin \alpha$ est toujours une petite quantité et nous nous bornerons, par suite, à écrire les premiers termes de chaque série; nous vérifierons du reste que cela est plus que suffisant.

1° *Demi-angle* α *des essieux convergents*. — On a d'abord

$$\sin \alpha = \frac{D}{R},$$

d'où l'on tire

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{D^2}{R^2}} = 1 - \frac{1}{2}\frac{D^2}{R^2} + \ldots;$$

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{\frac{D}{R}}{1 - \frac{1}{2}\frac{D^2}{R^2} + \ldots} = \frac{D}{R} + \frac{1}{2}\frac{D^3}{R^3} + \ldots;$$

$$\alpha = \frac{D}{R} + \frac{1}{6}\frac{D^3}{R^3};$$

et, pour la valeur α' du même angle en degrés,

$$\alpha' = \frac{180}{\pi}\left(\frac{D}{R} + \frac{1}{6}\frac{D^3}{R^3}\right).$$

2° *Angle* ε. — On a

$$\varepsilon = \text{tang}\,\varepsilon - \frac{1}{3}\text{tang}^3\,\varepsilon + \ldots\,;$$

d'autre part on a trouvé

$$\text{tang}\,\varepsilon = \frac{m \sin\alpha}{D - d\cos\alpha},$$

ou, en remplaçant $\sin\alpha$ et $\cos\alpha$ par leurs valeurs approchées,

$$\text{tang}\,\varepsilon = \frac{m\dfrac{D}{R}}{D - d\left(1 - \dfrac{1}{2}\dfrac{D^2}{R^2}\right)} = \frac{m}{D-d}\cdot\frac{D}{R}\left(\frac{1}{1 + \dfrac{d}{2(D-d)}\dfrac{D^2}{R^2}}\right)$$

ou approximativement : $\text{tang}\,\varepsilon = \dfrac{m}{D-d}\cdot\dfrac{D}{R}\left(1 - \dfrac{d}{2(D-d)}\dfrac{D^2}{R^2}\right)$,

expression où $m = r\sin\omega$.

Portant cette valeur de $\text{tang}\,\varepsilon$ dans celle de ε, il viendra, en négligeant les puissances de $\dfrac{D}{R}$ supérieures à la troisième,

$$\varepsilon = \frac{m}{D-d}\cdot\frac{D}{R} - \left[\frac{md}{2(D-d)^2} + \frac{1}{3}\frac{m^3}{(D-d)^3}\right]\frac{D^3}{R^3},$$

et pour la valeur ε' du même angle en degrés

$$\varepsilon' = \frac{180}{\pi}\left\{\frac{m}{D-d}\cdot\frac{D}{R} - \left[\frac{md}{2(D-d)^2} + \frac{1}{3}\frac{m^3}{(D-d)^3}\right]\frac{D^3}{R^3}\right\}.$$

3° *Angle* θ_1 *et* θ_2. — Nous n'avons, par suite de leurs formes, rien à ajouter aux expressions déjà données de ces

deux angles; nous nous bornerons à remarquer que leurs valeurs θ'_1 et θ'_2 en degrés sont

$$\theta_1' = \alpha' - \varepsilon' \quad \text{et} \quad \theta_2' = \alpha' + \varepsilon'.$$

4° *Déplacement latéral* h *de la bielle de transmission.* — Pour obtenir l'expression de cette quantité, nous n'avons qu'à remplacer dans son expression exacte, précédemment indiquée, $\sin\alpha$, $\cos\alpha$ et $\tang\varepsilon$ par leurs valeurs approchées trouvées tout à l'heure; nous aurons ainsi, en négligeant les puissances de $\frac{D}{R}$ supérieures à la troisième,

$$h = d\frac{D}{R} - \frac{1}{2}\frac{m^2}{(D-d)}\cdot\frac{D^3}{R^3}.$$

5° *Allongements* e_1 *et* e_2 *des deux moitiés de la bielle de transmission.* — Cherchons d'abord l'expression de la moitié e de l'allongement total de la bielle. Nous avons trouvé

$$e = \frac{D - d\cos\alpha}{\cos\varepsilon} - (D-d),$$

nous aurons donc à remplacer $\cos\alpha$ par $1 - \frac{1}{2}\frac{D^2}{R^2}$; en outre on a approximativement

$$\frac{1}{\cos\varepsilon} = \sqrt{1 + \tang^2\varepsilon} = 1 + \frac{1}{2}\tang^2\varepsilon,$$

ou, en remplaçant $\tang\varepsilon$ par sa valeur et négligeant les puissances de $\frac{D}{R}$ supérieures à la troisième,

$$\frac{1}{\cos\varepsilon} = 1 + \frac{m^2}{2(D-d)^2}\cdot\frac{D^2}{R^2};$$

on aura donc

$$e = \left[D - d\left(1 - \frac{1}{2}\cdot\frac{D^2}{R^2}\right)\right]\left[1 + \frac{m^2}{2(D-d)^2}\cdot\frac{D^2}{R^2}\right] - (D-d).$$

e[illegible]isant dans les limites de nos approximations,

$$e = \frac{1}{2}\left(d + \frac{m^2}{D-d}\right)\frac{D^2}{R^2}.$$

Les allongements e_1 et e_2 des deux moitiés de la bielle diffèrent de e par le terme $\mp \frac{m(1-\cos\alpha)}{\cos\varepsilon}$ dont la valeur approchée sera $\frac{m}{2}\frac{D^2}{R^2}$; nous aurons donc

$$e_1 = \frac{1}{2}\left(d - m + \frac{m^2}{D-d}\right)\frac{D^2}{R^2},$$

$$e_2 = \frac{1}{2}\left(d + m + \frac{m^2}{D-d}\right)\frac{D^2}{R^2}.$$

m variant de $-r$ à $+r$, il est clair que e_1 et e_2 passent successivement par les mêmes valeurs et qu'ils ont par suite le même maximum et le même minimum. Prenons e_1, par exemple; cette quantité est évidemment maxima pour $m = -r$, et l'on peut s'assurer que sa dérivée est constamment négative quand m varie de $-r$ à $+r$, la quantité e_1 est donc minima pour $m = r$.

APPLICATION DES FORMULES PRÉCÉDENTES A LA MACHINE RARCHAERT.

Dans ces applications, nous pourrons encore simplifier les formules approchées que nous venons d'établir; nous avons

$$D = 1^{m},400,$$
$$d = 0^{m},600,$$
$$D - d = 0^{m},800;$$

on déduit de là :

pour $R = 14^{m}$	pour $R = 50^{m}$,
$\frac{D}{R} = 0,1$	$\frac{D}{R} = 0,028$
$\frac{D^2}{R^2} = 0,01$	$\frac{D^2}{R^2} = 0,000784$
$\frac{D^3}{R^3} = 0,001$	$\frac{D^3}{R^3} = 0,00002195$

Ces chiffres, qui se rapportent à des courbes de très-faibles rayons, nous permettent de justifier les simplifications nouvelles que nous allons faire subir à nos formules.

1° *Demi-angle* α' *des essieux convergents.* — On a, en remplaçant $\frac{180}{\pi}$ par sa valeur 57,30,

$$\alpha' = 57,30\left(\frac{D}{R} + \frac{1}{6}\frac{D^3}{R^3}\right);$$

en négligeant le terme en $\frac{D^3}{R^3}$, l'erreur relative que l'on commet n'est que de 0,0016 pour $R = 14$ mètres et de 0,000131 pour $R = 50$ mètres. On peut donc faire cette nouvelle approximation et écrire simplement, pour la valeur de l'angle α' exprimée en degrés,

$$\alpha' = 57,30\frac{D}{R} = \frac{80,22}{R}.$$

2° *Angle* ε'. — La valeur approchée en degrés, précédemment trouvée pour cet angle, peut s'écrire, en remplaçant $\frac{180}{\pi}$ par sa valeur 57,30,

$$\varepsilon' = 57,30\frac{m}{D-d}\cdot\frac{D}{R}\left\{1 - \left[\frac{d}{2(D-d)} + \frac{m^2}{3(D-d)^2}\right]\frac{D^2}{R^2}\right\}.$$

La valeur maxima de la quantité $\frac{d}{2(D-d)} + \frac{m^2}{3(D-d)^2}$ a lieu pour $m = r = 0,25$ et est égale, en remplaçant D et d par leurs valeurs numériques, à 0,408; l'erreur relative que l'on commet en négligeant le terme

$$\left[\frac{d}{2(D-d)} + \frac{m^2}{3(D-d)^2}\right]\frac{D^2}{R^2}$$

est donc égale à 0,00408 pour $R = 14$ mètres et à 0,000326

: 50 mètres; on peut donc faire en toute sécurité cette nouvelle approximation et prendre

$$\varepsilon' = 57{,}30\,\frac{m}{D-d}\cdot\frac{D}{R}.$$

Les valeurs extrêmes de m étant $\pm r$ ou $\pm 0{,}25$, on aura donc pour les valeurs extrêmes de ε'

$$\pm\frac{57{,}30\times 0{,}25}{0{,}800}\cdot\frac{D}{R},\ \text{ou}\ 17{,}90\,\frac{D}{R},\ \text{ou enfin}\ \frac{25{,}06}{R}.$$

3° *Angles* θ'_1 *et* θ'_2. — Ces angles passent successivement par les mêmes valeurs, et leurs valeurs extrêmes en degrés sont $\alpha' \pm \varepsilon'$, expression où l'on doit prendre aussi pour ε' ses valeurs extrêmes, ce qui donne

$$(57{,}30 \pm 17{,}90)\,\frac{D}{R},\ \text{ou}\ \frac{80{,}22 \pm 25{,}06}{R}.$$

4° *Déplacement latéral* h *de la bielle de transmission.* — On verrait encore que dans l'expression approchée de h, le terme qui contient $\frac{D^2}{R^2}$ est tout à fait négligeable; en le négligeant, du reste, on obtient la valeur maxima de h, savoir :

$$h = d\,\frac{D}{R} = 0^m{,}600\,\frac{D}{R} = \frac{0{,}840}{R}.$$

5° *Allongements* e_2 *et* e_1 *des deux moitiés de la bielle de transmission.* — Nous aurons d'abord pour la valeur maxima de la moitié e de l'allongement de la bielle entière,

$$e = \frac{1}{2}\left[0{,}600 + \frac{(0{,}25)^2}{0{,}800}\right]\frac{D^2}{R^2} = 0{,}339\,\frac{D^2}{R^2} = \frac{0{,}664}{R^2};$$

d'où nous concluons pour les valeurs maxima et minima communes à e_1 et e_2,

$$(0{,}339 \pm 0{,}125)\,\frac{D^2}{R^2} = \frac{0{,}664 \pm 0{,}245}{R^2}.$$

Au moyen des expressions approchées que nous venons de trouver, on a formé le tableau suivant :

Valeurs en mètres du rayon R de la voie.		14^{m}	50^{m}	100^{m}	150^{m}	200^{m}	250^{m}
Valeurs en degrés du demi-angle α' des essieux convergents		degrés. 5.73	degrés. 1.60	degrés. 0,80	degrés. 0.53	degrés. 0,40	degrés. 0,32
Valeurs en degrés de l'angle ε'	maxima.	1,79	0.50	0,25	0,17	0,12	0,10
	moyenne.	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
	minima.	—1,79	—0,50	—0,25	—0,17	—0,12	—0,10
Valeurs en degrés des angles θ'_1 et θ'_2	maxima.	7,52	2,10	1,05	0,70	0,52	0,42
	moyenne.	5,73	1,60	0,80	0,53	0,40	0,32
	minima.	3,94	1,10	0.55	0,36	0,28	0,22
Valeur maxima en millimètres du déplacement latéral h		60,0	16,8	8,4	5,6	4,2	3,4
Valeur minima en millimètres du demi-allongement e de la bielle entière de transmission		3,39	0,266	0,066	0,029	0,017	0,011
Valeurs en millimètres des allongements e_1 et e_2 de chaque moitié de la bielle de transmission	maxima.	4,64	0,364	0,091	0.040	0,023	0.015
	moyenne (*)	3,00	0,235	0,059	0,026	0,015	0,009
	minima.	2,14	0,168	0.042	0,018	0,011	0,007

(*) Cette valeur moyenne de e_1 et de e_2 n'est pas la moyenne entre les valeurs extrêmes, mais la valeur qui correspond à la valeur moyenne de m (laquelle est zéro puisque m varie de $-r$ à $+r$), c'est-à-dire aux positions verticales des coudes des essieux.

Ce sont les allongements e_1 et e_2 des deux moitiés de la bielle de transmission, auxquels il n'a pas été satisfait géométriquement dans le mécanisme de M. Rarchaert; mais on voit qu'ils sont tout à fait insignifiants. En effet, dans des courbes de 100 mètres de rayon, ces allongements n'atteignent qu'une valeur maxima de 9 centièmes de millimètre, et l'écart se trouvera très-facilement compensé par le jeu des diverses articulations; ces allongements seraient de $0^{mm},36$, soit 1/3 de millimètre dans des courbes de 50 mètres, et là encore le jeu des pièces compenserait l'inexactitude de la solution géométrique; car l'ajustage ne se fait pas avec une précision telle qu'on ne puisse compter sur un tel jeu, que l'usure créerait d'ailleurs rapidement, s'il n'existait pas tout d'abord. En tous cas, nous sommes bien loin des allongements que devaient subir les bielles de transmission de la machine Steïerdorf, puisque, pour la plus courte de ces bielles, qui avait environ $0^{m},60$ de longueur, l'allongement devait dépasser 1 millimètre. Je

pense donc que le petit défaut théorique qui nous occupe ne peut avoir aucun effet nuisible quand la machine circulera à la vitesse normale dans les courbes de 100 mètres de rayon, et à une faible vitesse dans les courbes de 50 mètres, que pourront présenter les voies des gares et les voies de raccordement. Envisagée au point de vue pratique, la flexibilité de la machine de M. Rarchaert, dans de pareilles courbes, ne me paraît rien laisser à désirer.

2° PASSAGE DES INÉGALITÉS DE LA VOIE.

La surface supérieure des rails peut présenter accidentellement des inégalités en hauteur, c'est-à-dire des saillies et des creux; au passage des roues sur ces inégalités il y a soulèvement et abaissement des essieux; ces mouvements sont rendus possibles, en principe, par le jeu vertical que possèdent toutes les boîtes à graisse des essieux entre les plaques de garde; mais il n'en faudrait pas conclure que les liaisons du mécanisme, à les supposer toutes rigoureuses et sans jeu, permettraient les déformations qui résulteraient de ces déplacements des essieux; on va voir qu'il en est autrement et que les articulations, au moins certaines d'entre elles, doivent présenter un jeu pour rendre possible le passage des irrégularités de la voie, comme la circulation dans les courbes.

On se trouve en effet en présence d'un système de liaisons surabondantes qui, par suite, peuvent devenir incompatibles. Ainsi la bielle triangulaire centrale, supposée réduite à son plan vertical de symétrie, peut être regardée comme une figure plane mobile dans un plan vertical passant par l'axe longitudinal de la machine; son mouvement est donc complétement déterminé par les mouvements de deux de ses points. Or, trois des points de la bielle sont assujettis à décrire des circonférences de cercle autour de trois centres représentés par les axes du faux essieu et des

essieux coudés des trucks. Le mouvement de la bielle est donc surabondamment guidé, et il n'est possible qu'à la condition que les trois centres de rotation dont il vient d'être parlé soient toujours situés aux trois sommets d'un triangle identique à celui que forme la bielle elle-même et semblablement placé quant à la direction de ses côtés. Si cette condition n'est pas rigoureusement remplie, le mouvement continu n'est plus possible, à moins que les articulations n'aient un jeu suffisant. Or, ce jeu est admissible dans certaines limites; ainsi la bielle triangulaire ayant son mouvement parfaitement déterminé par celui des deux coudes des essieux des trucks, rien ne s'oppose, en principe, à ce que l'articulation de son sommet avec le coude du faux essieu n'ait un jeu sensible, ce qui pourra éviter l'incompatibilité accidentelle des liaisons.

Nous allons étudier, en conséquence, ce que deviennent les liaisons auxquelles la bielle est assujettie dans le franchissement des irrégularités de la voie; il s'agit, bien entendu, des inégalités en hauteur ou, si l'on veut, des dénivellations que peut présenter la surface des rails. Pour simplifier les considérations que nous avons à exposer sur ce sujet, nous examinerons d'abord ce qui se passerait avec une bielle de transmission droite, c'est-à-dire dans le cas où le faux essieu serait au même niveau que les essieux des trucks.

La *fig.* 10 (Pl. IV) représente une projection du mécanisme supposé sur un plan vertical perpendiculaire au faux essieu E et passant par l'axe longitudinal de la machine; nous donnerons à l'avenir à ce plan le nom de *plan méridien*. Soient E′ et E″ les essieux coudés des deux trucks; soient encore EC, E′C′, E″C″ les manivelles équivalentes aux coudes de ces trois essieux et enfin C″CC′ la bielle de transmission.

Supposons que le milieu de l'essieu E′ vienne, par suite d'une irrégularité de la voie, à être soulevé verticalement

d'une quantité $E'e_1'$ que nous désignerons par Δ. Comme cet essieu n'a qu'un jeu vertical entre ses plaques de garde, son axe suivra dans son déplacement la verticale E'K' du point [illegible]n même temps le faux essieu E, qui n'a aussi qu'u[illegible] vertical entre ses plaques de garde et qui re[illegible] [illegible]r l'intermédiaire de supports, sur les essieux E' et [illegible]'élèvera sur la verticale du point E d'une quantité Ee_1 [illegible]ment égale à la moitié de $E'e'_1$, c'est-à-dire à $\frac{\Delta}{2}$, [illegible] par suite la bielle de transmission viendra en $C''C_1C'_1$.

Il faut remarquer que, par suite de cette déformation du système, les distances des essieux E' et E à l'essieu E'', dont on suppose que le niveau n'a pas changé, auront augmenté respectivement des quantités $k'e'_1$, et ke_1; il faudra donc, en toute rigueur, que la bielle $C''C'_1$ s'allonge aussi d'une quantité égale à $k'e'_1$, au moins, quand dans son mouvement elle viendra se placer sur la ligne $E''e'_1$: car on ne peut pas supposer que les coudes des essieux ou manivelles E''C'', EC, E'C' puissent s'allonger d'une façon quelque peu appréciable ; mais les articulations C'', C_1, C'_1 des manivelles avec la bielle ont toujours en pratique un certain jeu qui pourra satisfaire à ce besoin d'extension, si l'écart à racheter est suffisamment petit. Cet écart est représenté sur la figure par la ligne $k'e'_1$, dont nous désignerons la longueur par δ. Or, dans le triangle $E''e'_1E'$, on a, la distance E''E' étant toujours représentée par $2l$,

$$(2l+\delta)^2-(2l)^2=\overline{E'e'_1}^2=\Delta^2,$$

d'où

$$4l\delta+\delta^2=\Delta^2.$$

Comme δ est toujours très-petit par rapport à $4l$, on aura très-approximativement

$$\delta=\frac{\Delta^2}{4l}.$$

Dans la machine de M. Rarchaert $l = 0^m,80$; si l'on suppose Δ égal à $0^m,02$, on aura

$$\delta = \frac{0,0004}{4 \times 0,80} = \frac{0,0001}{0,8},$$

c'est-à-dire à peu près un dixième de millimètre ; c'est une quantité dont on ne saurait tenir compte dans la pratique de l'ajustage et que le jeu des pièces fournira toujours. Par conséquent, avec une bielle droite et pour des inégalités de la voie restreintes dans les limites que nous venons d'indiquer, le forcement du mécanisme serait absolument insignifiant, et il faut remarquer que Δ étant regardé comme une quantité très-petite du premier ordre, l'écart δ qu'il s'agit de racheter n'est qu'une quantité très-petite du second ordre. Mais cela n'a lieu qu'autant que la bielle de transmission est droite ; car, si elle est triangulaire, δ devient une quantité très-petite du premier ordre et d'autant plus grande que la forme triangulaire est plus accentuée ; c'est ce que l'examen attentif de la *fig.* 11 permet de reconnaître. J'aurais pu simplifier cette figure en n'y indiquant que les déplacements relatifs des différentes pièces, mais j'aurais moins clairement montré ce qui se passe réellement dans le franchissement des inégalités de la voie.

Sur la *fig.* 11, Pl. IV, qui est encore une projection sur le plan méridien, E, E′, E″ représentent respectivement les axes du faux essieu et des essieux coudés des deux trucks. On doit se rappeler que le faux essieu E est porté par deux supports triangulaires placés latéralement et reposant eux-mêmes sur les essieux E′ et E″, par rapport auxquels ils ont un jeu de l'avant à l'arrière sans aucun jeu vertical. Il sera utile, pour la clarté de ce qui va suivre, de considérer les points de la base des supports qui se projettent en E′ et E″ quand le mécanisme est dans la position normale ; ces supports pourront donc être regardés comme des trian-

gles rigides E'EE'' dont la base, suffisamment prolongée en dehors de la distance E'E'', pourra glisser librement de l'avant à l'arrière et inversement, sans cesser de reposer sur les essieux E' et E''.

Supposons maintenant que le milieu de l'essieu coudé E' du truck d'avant se trouve surélevé brusquement, par suite d'une irrégularité de la voie, d'une hauteur E'f, que nous désignerons par Δ; ce milieu tendrait à venir en e'_1, en suivant un arc de cercle E'e'_1, ayant le point E'' pour centre et pour rayon la distance E'E'' ou $2l$. Mais comme l'essieu E', par suite de l'absence de jeu horizontal de ses coussinets entre leurs plaques de garde, ne peut que se déplacer verticalement, il viendra en f sur l'horizontale e'_1f. Toutefois l'écart e'_1f est très-petit; il a en effet pour valeur très-approchée

$$\frac{\Delta^2}{4l},$$

ce qui est une quantité très-petite du second ordre, tout à fait insignifiante en pratique, ainsi que nous l'avons montré tout à l'heure; nous n'en tiendrons pas compte, et nous admettrons par suite que l'essieu E' vient en e'_1.

Par suite du soulèvement supposé, le support triangulaire du faux essieu (il suffit de considérer l'un des supports, car pour le moment nous supposons que les irrégularités sont les mêmes sur les deux rails, et que par suite l'essieu soulevé ou abaissé reste horizontal, en sorte que les deux supports du faux essieu se projettent toujours l'un sur l'autre) devrait venir en E''$e_1e'_1$, l'angle e_1E''E étant égal à l'angle e'_1E''E'; soit θ en valeur commune de ces deux angles; dans le déplacement indiqué, le faux essieu lui-même devrait se transporter en e_1.

Voyons maintenant ce que deviendrait la bielle triangulaire d'abord placée en C''CC'; nous supposons que le point C'' ne se déplace pas, et cette supposition ne peut

entacher d'aucune inexactitude nos résultats définitifs, car nous devons examiner la question qui nous occupe pour toutes les positions possibles du mécanisme, et, par suite, pour une valeur quelconque ω de l'angle formé par la manivelle E″C″ avec la verticale E″K″.

La manivelle E′C′ se transporterait parallèlement à elle-même en $e'_1C'_1$ et la manivelle EC aussi parallèlement à elle-même en e_1C_1 ; en sorte que le sommet C_1 de la bielle de transmission serait amené sur un cercle du centre e_1 et de rayon e_1C_1. Par suite, cette bielle passerait de sa position normale C″CC′ à la position $C''C_1C'_1$, en tournant d'un angle θ autour du point C″.

Mais ces déplacements sont impossibles, parce que les liaisons sont surabondantes comme je l'ai dit, que dans l'espèce elles deviennent incompatibles et que le faux essieu ne peut pas venir de E en e_1, attendu que, privé de jeu d'avant en arrière entre ses plaques de garde, il ne peut se déplacer que sur la verticale KE.

Voici alors ce qui arrivera :

Les supports $E''e_1e'_1$, libres de glisser de l'arrière à l'avant sur les essieux des trucks, se déplaceront vers l'avant, parallèlement à $E''e'_1$, jusqu'à ce que leurs sommets et, par suite, l'axe du faux essieu soient parvenues en e_2 sur la verticale KE. Mais, en supposant tout le mécanisme absolument rigide, la bielle de transmission devrait rester en $C''C_1C'_1$, puisque sa base étant maintenue en $C''C'_1$, elle ne peut donc suivre ce mouvement des supports. On voit, par suite, que le sommet de cette bielle devrait continuer à se trouver toujours sur la circonférence e_1C_1, mais que, d'autre part, l'extrémité de la manivelle ou coude du faux essieu, avec laquelle ce sommet est articulé, serait, par suite du déplacement des supports, dans l'obligation de se trouver constamment sur un autre cercle de rayon e_2C_2, égal à e_1C_1, mais de centre différent e_2. On voit donc que là se manifeste nettement, en principe, une incompatibilité dans les

liaisons, puisque le point C_1 devrait se trouver généralement sur deux cercles différents, suivant qu'on le regarde comme le sommet de la bielle de transmission ou comme l'extrémité du coude du faux essieu.

Par quels moyens remédiera-t-on à cette incompatibilité géométrique? Il y en a trois qui sont immédiatement indiqués et qui, en pratique, pourront concourir au résultat cherché, mais dans une mesure variable qu'on ne peut apprécier d'une manière générale. Tout ce qu'on peut faire, c'est d'essayer de reconnaître comment chacun de ces moyens opérerait s'il agissait seul.

Premier moyen. — Un jeu suffisant dans l'articulation du sommet C de la bielle, à l'exclusion de tout jeu dans les articulations C' et C'' des extrémités de sa base, permettrait à ce sommet C de rester en C_1 sur le cercle e_1C_1, et ce jeu devrait être égal à C_1C_2 ou $C_1e_1 - C_1e_2$, quantité que nous désignerons par δ. Cherchons l'expression de cette quantité; pour cela menons l'horizontale e_1e_3. L'angle $e_3e_1e_2$ sera égal à θ et toujours très-petit; l'angle $c_1e_1e_3$ est égal à $90° - \omega$, et par suite l'angle $C_1e_1e_2$ est égal à $90° - \omega - \theta$. Comme d'ailleurs l'angle $e_1C_1e_2$ est toujours très-petit, la différence $C_1e_1 - C_1e_2$ est égale, à très-peu près, à

$$\delta = e_1e_2 \times \cos(90° - \omega - \theta), \text{ ou } e_1e_2 \sin(\omega + \theta),$$

ou encore, en désignant par σ la distance e_1e_3, et remarquant que $e_1e_2 = \dfrac{\sigma}{\cos\theta}$,

$$\delta = \sigma \frac{\sin(\omega + \theta)}{\cos\theta},$$

quantité qui s'annule pour $\omega = -\theta$ et $\omega = 180° - \theta$, et qu'on peut écrire très-approximativement, puisque θ est toujours un très-petit angle,

$$\delta = \sigma \sin\omega.$$

Il est facile d'ailleurs de trouver l'expression de σ en négligeant toujours les quantités très-petites du second ordre.

En effet, les arcs $E'e'_1$ et Ee_1 correspondant à un même angle dans des cercles de rayons respectivement égaux à E'E' et E''E, on a

$$Ee_1 = E'e'_1 \frac{E''E}{E''E'}.$$

Or $E'e'_1$ est égal au soulèvement Δ de l'essieu E'; d'autre part, $E''E' = 2l$, et si enfin on désigne par α l'angle EE''E', on aura

$$Ee_1 = \frac{\Delta}{2 \cos \alpha}.$$

Mais, d'autre part, si l'on regarde Ee_1 comme une ligne droite perpendiculaire à EE'', l'angle e_1Ee_2 sera aussi égal à α, et l'on aura

$$\sigma = e_1e_2 = Ee_1 \sin \alpha = \frac{\Delta \tang \alpha}{2}.$$

Dans le triangle E''EK, l'angle en E'' est égal à α; E''K est égal à l, d'après les désignations précédemment établies; enfin, si l'on désigne par h la hauteur EK du support, qui est aussi la hauteur de la bielle de transmission, on aura

$$\tang \alpha = \frac{h}{l},$$

d'où

$$\sigma = \frac{\Delta h}{2l},$$

et par suite

$$\delta = \frac{\Delta h}{2l} \sin \omega.$$

La valeur maxima de C_1C_2 sera donc σ ou $\frac{\Delta h}{2l}$. Si, comme nous l'avons supposé précédemment, $\Delta = 0^m,02$, comme

on a d'ailleurs, dans la machine de M. Rarchaert, $h = 0^m,25$ et $2l = 1^m,60$, on obtiendra

$$\sigma = \frac{\Delta h}{2l} = \frac{0^m,02 \times 0,25}{1,60} = 0^m,0031.$$

On voit donc que le premier moyen examiné pour parer à l'incompatibilité que présente le système de liaisons exigerait un jeu très-notable dans l'articulation C du sommet de la bielle de transmission avec le coude du faux essieu. Un pareil jeu serait tout à fait inadmissible si la bielle n'était pas déjà guidée par les extrémités C′ et C″ de sa base; nous examinerons plus loin s'il est admissible dans la pratique, et quelles sont les précautions qu'il faudrait observer à cet égard; c'est là une question spéciale qui mérite une attention particulière.

Deuxième moyen. — La bielle de transmission parvenue dans la position $C''C_1C'_1$ se déformerait de façon que son sommet C_1 se transportât sur la circonférence e_2C_2, en un point qu'il est impossible de déterminer *a priori;* car, pour faire cette détermination, il faudrait connaître exactement les résistances des différentes parties de la bielle; mais si l'on se reporte au dessin de cette bielle, on reconnaîtra qu'elle est tellement rigide qu'on ne peut rien attendre en pratique de sa déformation; ce second moyen doit donc être regardé comme à peu près absolument inefficace.

Troisième moyen. — La bielle de transmission étant regardée comme entièrement rigide, si l'on suppose qu'il n'y a aucun jeu dans les articulations, l'incompatibilité des liaisons pourrait encore, en théorie, disparaître de la manière suivante : Les roues des essieux E″ et e'_1 ne devant pas quitter les rails, l'essieu E″ pourra se transporter en e''_3, sur l'horizontale E″E′, de la quantité $E''e''_3$ égale à e_1e_3 ou σ; en même temps l'essieu E′, soulevé en e'_1, devra se

transporter de e'_1 en e'_3 d'une quantité aussi égale à σ. Alors les points e_2, g'', g' des supports s'abaisseront de quantités égales e_2e_3, $g''e''_3$ et $g'e'_3$; mais, comme les boîtes à graisse des essieux des trucks ne doivent pas avoir de jeu de l'avant à l'arrière entre leurs plaques de garde ; comme, d'autre part, les chevilles ouvrières qui portent la chaudière et le châssis général n'ont aucun jeu sensible dans leurs crapaudines, le déplacement susindiqué des essieux coudés des trucks ne pourra se faire qu'en entraînant les châssis mêmes de ces trucks, en comprimant ou étirant leurs longerons et en forçant les croix qui les entretoisent. Il pourrait donc en résulter, si l'incompatibilité des liaisons ne pouvait disparaître que de cette unique manière, une fatigue très-notable des châssis des trucks; car nous avons vu que, pour une irrégularité de la voie ayant $0^m,02$ de hauteur, le déplacement que nous venons d'indiquer et qui est égal à σ serait de $0^m,0031$.

Il n'est pas douteux que dans la machine de M. Rarchaert les trois moyens que nous venons d'indiquer concourraient à faire disparaître l'incompatibilité théorique des liaisons; mais ces moyens n'ont pas des inconvénients de même importance, et l'on est conduit à se demander quel est celui dont il est avantageux de favoriser le plus l'action.

J'écarte immédiatement le deuxième moyen fondé sur la déformation de la bielle; car cette bielle n'est plus soumise, comme dans les machines ordinaires, à de simples efforts dirigés dans le sens de sa longueur, mais à des efforts transversaux qui tendent à la fléchir; elle doit donc rester très-forte et, par suite, on ne peut compter sur un allongement appréciable de ses côtés.

Le troisième moyen ne vaut pas mieux, parce qu'il peut fatiguer considérablement les châssis des trucks.

Le premier moyen, qui consiste dans le jeu des articulations C, C', C'' de la bielle de transmission avec les coudes des essieux coudés, me paraît de beaucoup le plus avanta-

geux; mais il reste à chercher quelle est celle de ces articulations où il conviendrait le mieux de placer le jeu nécessaire; car il est utile que deux d'entre elles offrent la plus grande précision possible pour que la bielle soit guidée d'une manière très-nette.

Des raisons de symétrie d'abord conduisent à ne choisir, pour y placer le jeu nécessaire, aucune des deux articulations C′ et C″ de la bielle avec les coudes des essieux des trucks. Il est, en outre, au moins utile que ces articulations n'aient aucun jeu pour assurer l'égalité de parcours des roues des deux trucks et éviter leur glissement sur les rails. C'est donc à l'articulation C de la bielle avec le faux essieu que le jeu devrait être placé; dans quelles conditions cela pourra-t-il se faire et quels sont les inconvénients qui pourraient résulter de cette disposition? C'est ce que nous allons rapidement examiner.

Il est utile de se rappeler, pour l'intelligence de ce qui va suivre, qu'une bielle d'accouplement ordinaire ne peut transmettre d'efforts que dans la direction de sa longueur, ou, si l'on veut, qu'elle ne peut exercer qu'une résistance ayant cette direction contre le maneton de la manivelle qui la conduit. Par suite, le contact entre ce maneton et le coussinet qui l'emboîte tend à se faire alternativement en deux points seulement du coussinet placés aux extrémités d'un même diamètre horizontal. Par contre, le point de contact sur le maneton varie à chaque instant et se déplace, dans un tour de roues, sur la circonférence de ce maneton; il résulte de là que le coussinet, dont deux points opposés seulement supportent les efforts transmis, tend à s'ovaliser horizontalement.

Dans le mécanisme de M. Rarchaert, les choses sont renversées et, pour les circonstances ordinaires, l'effort transmis par le coude ou manivelle du faux essieu est constamment perpendiculaire à cette manivelle. Il en résulte que le contact a toujours lieu au même point *m* (Pl. IV, *fig.* 12) de la

portée du coude, tandis qu'il a lieu successivement, dans un même tour des roues, sur tous les points de la circonférence du coussinet, circonstance très-favorable à la conservation de ce dernier, dont le métal est plus tendre que celui du coude du faux essieu. Il est à peine besoin d'ajouter que dans la marche en arrière ou dans la marche en avant à contre-vapeur, le contact sur la portée du coude se transportera au point m', diamétralement opposé au point m. Tant que la vapeur agira, il n'y a donc à redouter aucun claquement alternatif de la portée sur la surface du coussinet; le petit choc qui pourrait se produire lors de la mise en marche ou du changement de marche me paraît aussi n'avoir absolument aucune importance. Le cas le plus délicat se présenterait lorsque la machine descendrait une rampe sans vapeur, c'est-à-dire le régulateur fermé; mais dans ce cas, le faux essieu serait entraîné par la bielle de transmission, conduite elle-même par les roues, et sa résistance au mouvement, par suite de sa liaison avec les pistons, ne pouvant être regardée comme tout à fait insignifiante, le point de contact devrait être constamment l'un ou l'autre des points m ou m', et il semble qu'il n'y aurait à craindre ni le claquement de la portée du coude, ni, par suite, le martelage du bronze du coussinet.

A mon avis, il n'y aurait pratiquement à redouter d'un jeu notable dans l'articulation qui nous occupe, qu'un seul inconvénient, l'expulsion de l'huile, qui ne serait plus suffisamment contenue entre la portée et le coussinet, et par conséquent un graissage défectueux et dispendieux.

M. Rarchaert fait observer à ce sujet que dans son dispositif, le contact ne passant pas brusquement et alternativement, comme dans les articulations des bielles ordinaires, d'un point du coussinet à un autre diamétralement opposé, il n'y a plus à craindre, à beaucoup près, autant l'expulsion de l'huile, et il pense que le coussinet central

de sa bielle fonctionnerait encore très-bien avec $0^m,005$ de jeu. Je laisse aux praticiens le soin de décider cette question; je ne vois, pour mon compte, pas autre chose à redouter d'un jeu notable, jeu qui d'ailleurs pourrait, en principe, et sauf les difficultés d'exécution, être réduit de moitié dans un sens; c'est ce que je vais rapidement expliquer :

Soit (Pl. IV, *fig.* 13) O le centre de la circonférence du coussinet et OM son rayon; E étant l'axe du faux essieu, on veut laisser dans le sens EM et de chaque côté, à la portée du coude de cet essieu, un jeu égal à δ, de sorte que lorsque le contact s'établirait, en M par exemple, le centre O' de la circonférence de la portée se trouverait à une distance OO', égale à δ, du centre O de la circonférence du coussinet.

Le jeu suivant OM est seul nécessaire et, par suite, déterminé à l'avance; dans la direction perpendiculaire ON, le jeu peut être réduit autant qu'on n'empêchera pas le jeu nécessaire suivant OM de fonctionner. Le simple examen de la figure conduit par suite à l'idée d'ovaliser la portée de l'essieu, en en augmentant le diamètre suivant la direction ON. Dans les bielles ordinaires, le coussinet s'ovalise rien que par l'usage : ici on ovaliserait intentionnellement la portée faisant fonction de maneton, par suite du renversement déjà signalé des rôles de ces deux pièces. On est donc amené à se demander quel est le plus grand demi-axe a ou O'N' que l'on peut donner à une ellipse dont le centre est en O' et dont le petit axe est O'M, pour que cette ellipse ne coupe pas le cercle de rayon OM, c'est-à-dire la circonférence du coussinet.

Cette question se résout très-simplement par les considérations suivantes :

Soit R le rayon OM de la circonférence du coussinet, δ le jeu à ménager dans chaque sens suivant EM; on aura $OO' = \delta$, et par suite le demi petit axe O'M de l'ellipse sera égal à $R - \delta$; cette ellipse sera de plus déterminée si l'on

connaît son rayon de courbure ρ au point M; car a étant son demi grand axe, on aura

$$\rho = \frac{a^2}{R-\delta},$$

et par suite,

$$a = \sqrt{\rho\,(R-\delta)}.$$

Si ρ est plus grand que R, l'ellipse dans le voisinage du point de contact M, se trouvera extérieure au cercle OM et placée entre ce cercle et la tangente commune MT aux deux courbes; comme d'ailleurs la seconde extrémité M' du petit axe de l'ellipse est dans l'intérieur dudit cercle, l'ellipse devra le couper en deux autres points I et K évidemment symétriques par rapport à la ligne EM; on ne peut donc pas prendre ρ plus grand que R, mais on peut prendre ρ égal à R; alors, en effet, l'ellipse sera osculatrice au cercle en M, le contact M sera au moins du troisième ordre, et la symétrie de la figure, par rapport à EM, montre qu'il sera en réalité du quatrième ordre; autrement dit, les points I et K seront venus se confondre avec le point M, et ce dernier étant alors quadruple, l'ellipse et le cercle ne pourront avoir aucun autre point commun. On pourra donc prendre pour la plus grande valeur de a

$$a = \sqrt{R\,(R-\delta)},$$

ou très-approximativement, puisque δ est très-petit par rapport à R,

$$a = R - \frac{\delta}{2}.$$

Le rayon de courbure aux extrémités du grand axe de l'ellipse, c'est-à-dire aux deux points ordinaires du contact, sera égal à

$$\frac{(R-\delta)^2}{R-\frac{\delta}{2}},$$

ou très-approximativement

$$R - \frac{3}{2}\delta.$$

Le contact s'établirait donc entre deux surfaces ayant des rayons de courbure R et $R - \frac{3}{2}\delta$ un peu différents; tant que δ restera petit, je ne crois pas qu'on ait à redouter une usure exceptionnelle, d'autant plus que le point de contact varie continuellement sur la surface du métal le plus tendre. Mais pourrait-on pratiquement tourner avec assez de précision une portée légèrement elliptique? C'est une question à examiner.

On pourrait du reste renverser la solution en adoptant une portée circulaire pour le faux-essieux et un coussinet à contour elliptique dont le grand axe serait horizontal.

Dans ce cas, pour que la portée du faux essieu puisse toujours se placer librement dans l'intérieur du coussinet, il suffira que son rayon soit inférieur au plus petit rayon de courbure du contour de ce coussinet, rayon qui correspond aux extrémités du grand axe de ce contour.

Soit R' le rayon de la portée circulaire du faux essieu et δ le jeu horizontal à ménager dans chaque sens : le demi grand axe du coussinet sera égal à $R' + \delta$; et, puisqu'aux extrémités de ce grand axe le rayon de courbure doit être égal à R', on devra avoir, en désignant par b le demi petit axe,

$$R' = \frac{b^2}{R' + \delta},$$

d'où

$$b = \sqrt{R'(R' + \delta)},$$

et approximativement

$$b = R' + \frac{\delta}{2}.$$

Le rayon de courbure aux extrémités du petit axe sera égal à

$$\frac{(R'+\delta)^2}{R'+\frac{\delta}{2}}$$

ou approximativement

$$R'+\frac{3}{2}\delta.$$

On voit donc que cette solution n'est autre que la précédente renversée, et qu'elle donne le même jeu minimum pour l'articulation, ainsi qu'un contact de même valeur dans le fonctionnement régulier du mécanisme.

D'après les indications fournies par M. Rarchaert, les articulations des trois essieux coudés avec la bielle de transmission auraient été primitivement ajustées avec un jeu de 1/4 de millimètre. Pour le faux essieu, après un parcours de 4.349 kilomètres sur la ligne de Vitré-Fougères et de 3.899 kilomètres sur le chemin de fer d'Orléans à Châlons, le jeu aurait atteint $0^m,001$ seulement; le jeu des articulations avec les essieux coudés des trucks n'a pas été mesuré, mais il était déjà sensible quand la machine a quitté la Bretagne, puisque les canaux de graissage étaient presque complétement effacés; en sorte, ainsi que le fait observer M. Rarchaert, que la machine a dû fonctionner avec beaucoup de jeu sur le chemin d'Orléans à Châlons.

Cet inventeur pense que les châssis des trucks porteurs sont trop robustes et ont même une section totale de métal trop grande pour pouvoir permettre d'une façon appréciable le déplacement des trucks porteurs sous le châssis général, déplacement que nous avons signalé comme troisième moyen de parer à l'incompatibilité des liaisons, en cas d'irrégularité de la voie. J'ai dit précédemment les inconvénients très-sérieux qu'il y aurait à user de ce moyen; d'ailleurs M. Rarchaert ne compte pas plus que moi sur la

déformation de la bielle de transmission ; il ne nous reste donc que le premier moyen examiné, celui qui repose sur un jeu convenable des articulations et dont il faudra favoriser l'action pour éviter de recourir à d'autres moyens beaucoup plus compromettants.

Il faut remarquer, du reste, avec M. Rarchaert, que les articulations ou ajustages des pièces présentent toujours un petit jeu, quelques soins que l'on prenne pour l'éviter ; or cinq jeux différents peuvent concourir du côté de chaque truck à racheter l'écart résultant de l'incompatibilité géométrique qu'offrent les liaisons quand la voie présente des petites dénivellations, savoir :

1° Un jeu à l'ajustage de la cheville-ouvrière dans sa crapaudine ;

2° Un jeu dans les coussinets extrêmes de l'essieu coudé du truck ;

3° Un jeu dans le coussinet du coude de cet essieu ;

4° Un jeu dans l'articulation du coude du faux essieu avec la bielle de transmission ;

5° Un jeu à l'ajustage du coussinet de ce faux essieu entre ses plaques de garde portées par les longerons principaux.

En supposant 2/10 seulement de millimètre à chaque jeu, on gagnerait 0,001 ; une légère déformation des pièces viendrait comme appoint, et l'on comprend que la machine ait pu, sans souffrir, dans un service régulier et prolongé, franchir des dénivellations des rails comme celles que nous avons examinées, dénivellations qui sont accidentelles en général et auxquelles nous avons d'ailleurs, dans nos exemples, attribué des valeurs tout à fait excessives, ainsi que nous l'expliquerons plus loin. Du reste, il n'y a pas de machine où les pièces assemblées pour former un ensemble rigide ne subissent des déformations sensibles ; par exemple, dans beaucoup de locomotives ordinaires de nos grandes lignes, les trois essieux sont accouplés sans

même qu'aucun d'eux ait un jeu dans le sens de la longueur, et, quand ces locomotives franchissent des courbes un peu raides, les longerons sont fléchis, etc. On peut donc compter, dans une certaine mesure et au moins comme appoint, sur de légères déformations des pièces assemblées pour parer aux incompatibilités que présentent les liaisons dans la machine Rarchaert, comme dans toutes les autres. J'ai, du reste, indiqué qu'il était possible de ménager sans inconvénient, dans l'articulation du faux essieu avec la bielle de transmission, un jeu exceptionnel qui fournirait à peu près à lui seul les ressources nécessaires.

Avant d'aller plus loin, il convient de consigner ici quelques observations pour mettre à l'abri de toute critique les théories que nous venons d'exposer.

On sait que dans les machines ordinaires à six roues couplées, les deux bielles d'accouplement sont brisées près de l'essieu du milieu. La raison de cette disposition est facile à comprendre.

Si, en effet, une bielle n'était pas brisée et ne formait qu'une seule pièce rigide, elle fonctionnerait comme un levier droit recevant en son milieu des efforts à peu près constants et toujours tangents à la circonférence décrite par le bouton de la manivelle de l'essieu médian, que nous supposons être l'essieu moteur, c'est-à-dire celui sur lequel agissent les bielles des pistons; ces efforts se reporteraient par moitié et avec la même direction aux extrémités de la bielle; c'est-à-dire tangentiellement aux circonférences décrites par ces extrémités. On aurait donc de chaque côté de la machine, comme avec la bielle de M. Rarchaert, une transmission constante et régulière des efforts reçus par l'essieu moteur; mais cette disposition aurait de graves inconvénients. Je ne parle pas de la nécessité où l'on serait de donner aux bielles non brisées un plus fort équarrissage, parce qu'elles tendraient à fléchir sous l'action des efforts qui leur seraient appliqués à leurs extrémités et en leur

milieu, tandis que les bielles brisées, ne pouvant transmettre que des efforts dirigés dans le sens de leur longueur, n'ont aucune tendance à la flexion; cela n'a pas d'importance. Mais, dans le passage des irrégularités de la voie, les extrémités des trois essieux situées d'un même côté de la machine ne resteront plus au même niveau, la bielle d'accouplement correspondante se trouvera dans l'obligation de passer par trois manetons de manivelles qui ne seront plus en ligne droite, et de prendre, si les manivelles sont verticales, une flèche égale à la dénivellation accidentelle de la voie, flèche qui pourrait être de plusieurs centimètres. Dans ces conditions, cette bielle serait fréquemment faussée et mise hors de service.

Le danger que nous venons d'indiquer aurait sa cause dans les liaisons surabondantes de la bielle, dont le mouvement serait entièrement déterminé si ses deux extrémités seulement étaient guidées. Si l'on faisait usage d'une liaison qui guiderait, en outre, son milieu, il arriverait, en particulier dans le cas que nous venons d'examiner, que ces diverses liaisons deviendraient incompatibles. On évite cette incompatibilité accidentelle en substituant à une bielle unique deux bielles articulées ensemble. Ces deux bielles partielles, qui ne sont pas assujetties à conserver exactement la même direction, ne peuvent plus alors transmettre d'efforts que dans le sens de leur longueur ; elles présentent des points morts; mais comme l'accouplement est double, ces points morts sont toujours facilement franchis.

La bielle unique de transmission de M. Rarchaert est, à certains égards, dans les mêmes conditions qu'une bielle d'accouplement non brisée d'une machine ordinaire; elle n'a pas de points morts, comme je l'ai maintes fois indiqué; elle est aussi conduite par trois de ses points. Mais, par suite du mode de suspension du faux essieu, les irrégularités de la voie ne rendraient pas incompatibles, en pratique, les liaisons surabondantes de cette bielle si elle

était droite. C'est là un des côtés les plus ingénieux du dispositif adopté par l'inventeur. Pour le bien faire comprendre, il nous faut entrer dans quelques détails, nécessaires d'ailleurs pour prévenir toute objection contre les théories exposées dans le présent paragraphe.

Reportons-nous d'abord à la *fig.* 10 relative au cas où la bielle de transmission serait droite. Nous avons admis implicitement que, lorsque le milieu de l'essieu coudé E′ du truck d'avant s'élevait, par suite d'une irrégularité de la voie, d'une hauteur $E'e'_1$ égale à Δ, le milieu du faux essieu s'élevait en même temps, par l'action de ses supports, d'une hauteur E*e*, égale à $\frac{\Delta}{2}$, de sorte que les milieux des trois essieux coudés restaient sur une même droite $E''e_1e'_1$; cela est évident si les deux extrémités de l'essieu E′ sont simultanément élevés de Δ et si, par suite, les trois essieux coudés restent parallèles. Alors, en effet, la symétrie du mécanisme est conservée par rapport au plan vertical méridien; mais il arrivera le plus souvent que les irrégularités de la voie ne permettront plus aux extrémités d'un même essieu de rester à la même hauteur; les trois essieux coudés ne seront plus parallèles et la symétrie dont il vient d'être parlé sera altérée; alors il n'est plus évident que les milieux des axes des trois essieux coudés doivent rester exactement sur une même ligne, ce qui est nécessaire quand on est en alignement droit, pour que les centres des trois cercles décrits par les extrémités de la bielle de transmission et par son milieu soient en ligne droite, et que cette bielle ne tende pas à se fausser.

Quand la machine est en courbe, le milieu de la bielle de transmission se déplace d'une façon très-notable sur la portée du coude du faux essieu, ainsi que nous l'avons montré précédemment.

La question se complique alors et il est nécessaire de montrer que, dans ce cas, les centres des trois cercles que

doivent décrire les extrémités et le milieu de la bielle de transmission peuvent encore être regardés pratiquement comme en ligne droite et équidistants, conditions nécessaires pour que les liaisons ne soient pas violées et que la bielle ne soit pas exposée à se fausser.

Pour cela, nous nous appuierons sur le théorème suivant :

Soit (Pl. IV, *fig.* 14) un quadrilatère ABCD, gauche ou plan ; si l'on prend sur ses côtés quatre points M, N, P, Q, de façon que l'on ait

$$\frac{AM}{MB} = \frac{DN}{NC}$$

et

$$\frac{AP}{PD} = \frac{BQ}{QC},$$

les deux droites MN et PQ se couperont en un point O et l'on aura de plus

$$\frac{OM}{ON} = \frac{AP}{PD} = \frac{BQ}{QC},$$

et

$$\frac{PO}{OQ} = \frac{AM}{MB} = \frac{DN}{NC}.$$

Ce théorème, facile d'ailleurs à démontrer directement, est une conséquence des propriétés connues des deux systèmes de génératrices d'un paraboloïde hyperbolique ; les droites MN et PQ se rencontrent, parce que ce sont deux génératrices de systèmes différents.

Soient (Pl. IV, *fig.* 15), en projection horizontale, I et I' les deux chevilles ouvrières, et, par suite II' l'axe longitudinal du châssis général ; le faux essieu MN sera constamment perpendiculaire, et ses supports AB et CD constamment parallèles à cet axe II'.

En alignement droit, les axes AD et BC des essieux coudés des trucks seront d'autre part parallèles à MN, en sorte que le quadrilatère ABCD aura ses côtés opposés égaux. Si ce

quadrilatère vient à se gauchir par suite des irrégularités de la voie, les lignes MN et PQ, qui joignent les milieux de ses côtés opposés, se couperont toujours au point O, où elles se diviseront mutuellement en parties égales. Or, les trois points P, O, Q, sont alors les centres des trois cercles verticaux que sont assujettis à parcourir les extrémités et le milieu de la bielle de transmission. Puisque ces trois points restent en ligne droite et équidistants, malgré les irrégularités de la voie, la bielle n'aura aucune tendance à se fausser.

Supposons maintenant que la machine se trouve dans une courbe de rayon déterminé; les trucks étant libres de s'orienter au-dessous du châssis général, sous l'influence des réactions des rails, les axes de leurs essieux coudés prendront les positions A'D' et B'C' également inclinées sur l'axe MN du faux essieu.

Les milieux des essieux coudés des trucks viendront se placer aux points P' et Q', sur une droite parallèle à II' et, par ces mêmes points, les longueurs A'D' et B'C' seront divisées dans le même rapport.

D'autre part, les points M et N qui appartiennent à l'axe du faux essieu partageront en parties égales les distances A'B' et D'C'; par conséquent, en vertu du théorème précédemment énoncé, l'axe MN du faux essieu rencontrera toujours la droite joignant les points P' et Q' en un point O', et de plus cette droite P'Q' sera partagée en O' en deux parties égales, puisque les points M et N divisent aussi en parties égales les distances A'B' et D'C'. Or, P', O', Q' sont les centres des cercles verticaux que doivent décrire alors les deux extrémités de la bielle de transmission et son milieu; cette bielle n'aura donc encore aucune tendance à se déformer, sauf pourtant à subir, dans ses deux moitiés, de petites variations de longueur, qui, en pratique, n'ont aucune importance, comme je l'ai montré précédemment.

Ce résultat suppose, il est vrai, que les deux trucks sont engagés à la fois dans une même courbe de rayon constant et que, par suite, leurs essieux coudés A'D' et B'C' ont pris la même inclinaison sur l'axe MN du faux essieu; il n'en est pas ainsi à l'entrée et à la sortie d'une courbe, alors que l'un des trucks est sur la courbe et l'autre sur l'alignement droit, mais il ne saurait se présenter dans ce cas tout accidentel aucun inconvénient appréciable.

Supposons, par exemple, que le truck d'avant I aborde une courbe; son essieu coudé BC prendra plus vite son inclinaison sur le faux essieu MN que l'essieu coudé AD du truck d'arrière, c'est-à-dire que l'inconvénient envisagé aurait son intensité maxima si l'essieu BC venait entièrement en B'C' avant que l'essieu AD eût commencé son mouvement pour se rendre en A'D' (ce qui n'est pas possible, si l'on veut bien y regarder de près).

Dans ce cas, la droite PQ', joignant les milieux des axes des essieux coudés des deux trucks, ne rencontrerait plus l'axe MN du faux essieu: autrement dit, les points O_1 et O_2 des droites PQ' et MN, qui se projettent horizontalement sur la figure en O'', ne se confondraient plus et se trouveraient à une certaine distance verticale l'un de l'autre; cherchons une expression au moins approchée de cette distance.

Le quadrilatère formé par les deux essieux coudés des trucks et par les deux supports du faux essieu, étant gauchi par les irrégularités de la voie, supposons que le sommet B' de ce quadrilatère se trouve, par exemple, à une distance ζ au-dessous du plan, à très-peu près horizontal, qui passe par les trois sommets A, D, C'.

Considérons ce plan comme un plan de coordonnées, et désignons par ε la distance Q'H; ε sera toujours une petite quantité, car j'ai montré précédemment quelle atteignait à peine 17 millimètres dans les courbes de 50 mètres de rayon.

Prenons le millimètre pour unité de longueur et nommons :

$2b$ la distance MN des supports; $2b = 850$;

$2l$ la distance AB des essieux coudés des trucks; $2l = 1600$.

d les distances égales PI′ et QI de ces essieux aux chevilles ouvrières correspondantes; $d = 600$.

ε étant regardé comme une quantité très-petite du premier ordre, nous négligerons son carré ε^2 qui est une quantité très-petite du second ordre.

L'ordonnée du point B′, par rapport au plan des trois points A, D, C′ étant ζ, celle du point Q′ sera $\zeta \dfrac{b+\varepsilon}{2b}$. ε ou Q′H étant du premier ordre, la distance QH est une quantité du second ordre négligeable devant les quantités d, b et l; et l'on peut regarder le point O_1 de la droite PQ′, qui se projette en O″ sur la figure, comme étant le milieu de cette droite PQ′; l'ordonnée du point O_1 sera donc

$$\zeta \frac{b+\varepsilon}{4b}.$$

Remarquons d'autre part que l'on a, en vertu de la similitude évidente des triangles BmB′ et Q′IH,

$$BB' = Q'H \times \frac{Bm}{IH} = \varepsilon \times \frac{Bm}{IH},$$

ce que l'on peut écrire, en négligeant toujours les quantités très-petites du second ordre,

$$BB' = \frac{\varepsilon b}{d}.$$

L'ordonnée du point B′ étant ζ, celle de l'extrémité M de l'axe du faux essieu sera

$$\zeta \frac{l}{2l + \frac{\varepsilon b}{d}} = \frac{\zeta}{2} \times \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon b}{2ld}},$$

et, si nous remarquons que OO″ est très-sensiblement égal à $\frac{Q'H}{2}$ ou $\frac{\varepsilon}{2}$, l'ordonnée du point O_2 de la droite MN, qui se projette en O″, sera

$$\frac{\zeta}{2} \times \frac{1}{1+\frac{\varepsilon b}{2ld}} \times \frac{b+\frac{\varepsilon}{2}}{2b} = \frac{\zeta}{4b} \times \frac{b+\frac{\varepsilon}{2}}{1+\frac{\varepsilon b}{2ld}},$$

ce qu'on peut écrire, en négligeant les quantités très-petites du second ordre en ε,

$$\zeta \frac{b+\frac{\varepsilon}{2}-\frac{b^2\varepsilon}{2ld}}{4b};$$

on conclut de là pour la distance O_1O_2 des deux points O_1 et O_2 des droites PQ′ et MN, qui se projettent en O″,

$$O_1O_2 = \frac{\zeta\varepsilon}{8b}\left(1+\frac{b^2}{ld}\right).$$

En faisant $\varepsilon = 17$, donnant d'autre part à ζ la valeur excessive de 40, et remplaçant b, l et d par leurs valeurs précédemment indiquées, on obtient :

$$O_1O_2 = \frac{40 \times 17}{4 \times 850}\left(1+\frac{\overline{425}^2}{800 \times 600}\right) = 0^{mm},2 \times 1,4 = 0^{mm},28.$$

On peut donc être assuré de trouver toujours, dans le jeu des articulations, les ressources nécessaires pour parer à cette petite incompatibilité des liaisons, qui d'ailleurs ne pourrait se présenter que dans des conditions tout à fait accidentelles et à laquelle nous avons attribué une valeur exagérée. Par conséquent, on peut admettre sans hésitation, en pratique, que la droite qui joint les milieux des axes des essieux coudés rencontre toujours l'axe du faux essieu, quelles que soient les inégalités de la voie. On peut

admettre également, ainsi qu'il résulte de la théorie exposée dans la première partie de ce chapitre, que les variations que subissent les distances PO et OQ, quand elles deviennent, soit P'O' et O'Q', soit PO'' et O''Q', n'ont aucune importance. On est donc en droit de conclure que les centres des trois cercles que décrivent les extrémités et le milieu de la bielle de transmission, peuvent être en pratique regardés comme constamment en ligne droite et équidistants, ce qui revient à dire que le centre du cercle intermédiaire ne dépend que de la position des centres des deux autres, ou encore des positions des milieux des axes des essieux coudés des deux trucks, sans qu'on ait à s'inquiéter autrement des déformations que les irrégularités de la voie peuvent amener dans le quadrilatère formé par les essieux coudés et les supports du faux essieu.

Pour le cas où la bielle de transmission et les supports du faux essieu sont triangulaires, comme dans la machine de M. Rarchaert, considérons ces supports en projection verticale, et soient P, O, Q (Pl. IV, *fig.* 16) les points où ils sont rencontrés par les axes des essieux coudés. Soit N la projection du point O sur la ligne PQ et concevons la droite qui joindrait les deux points N de chaque support; elle serait constamment parallèle à l'axe du faux essieu et l'on pourrait appliquer rigoureusement à cette droite tout ce que nous avons dit pour l'axe du faux essieu, dans le cas où la bielle de transmission est droite; d'où l'on conclura ce qui suit, en désignant par *h* la distance ON qui est égale à la hauteur de la bielle de transmission :

Quelles que soient les irrégularités de la voie, et par suite quel que soit le gauchissement du quadrilatère formé par les bases des supports du faux essieu et les axes des essieux coudés des trucks, le centre du cercle que tendrait *à décrire le sommet de la bielle, se trouvera toujours à l'extrémité d'une droite* ON *de longueur* h *et élevée perpendiculairement au milieu de la droite* PQ *qui joint les*

milieux des essieux coudés des deux trucks. C'est la règle que nous avons appliquée dans ce paragraphe, règle évidente quand les essieux coudés restent parallèles, et toujours applicable, comme nous venons de l'établir. La théorie des incompatibilités des liaisons que nous avons exposée est donc valable dans tous les cas.

Ce qui précède montre toute l'importance du mode de suspension adopté par M. Rarchaert pour son faux essieu; tandis que dans les locomotives ordinaires à six roues couplées, des bielles d'accouplement droites et non brisées seraient réellement exposées au passage des irrégularités de la voie à être faussées, par suite de la surabondance des liaisons devenant alors incompatibles. Il n'en serait pas de même pour une bielle unique de transmission dans la disposition de M. Rarchaert, si cette bielle était droite, bien qu'elle présente la même surabondance de liaisons. Les incompatibilités n'apparaissent réellement que lorsque la bielle est triangulaire; mais dans ce cas même, le mode de suspension du faux essieu n'en reste pas moins fort utile et fort remarquable, et constitue, à mon sens, un des côtés les plus ingénieux de l'invention.

Je pourrais arrêter ici les considérations que je viens de développer, mais il n'est pas sans intérêt d'examiner de plus près ce qui concerne la déformation des pièces du mécanisme. Mon attention s'était surtout portée sur la déformation des châssis des trucks. M. Rarchaert n'y compte guère comme on l'a vu, mais il compte davantage sur la flexion que peut prendre le faux essieu lui-même.

Si l'on se reporte à la Pl. IV, *fig.* 11, et à ce que nous avons dit sur la nature de l'incompatibilité des liaisons, en cas de dénivellation des rails, on verra que cette incompatibilité consiste en ce que l'axe du faux essieu, par suite de la liberté dont jouissent ses supports, tend à venir en e_2 pendant que le sommet de la bielle tend à décrire une circonférence C_1e_1 dont le centre est en e_1; la différence à ra-

cheter est donc égale à $C_1e_1 - C_1e_2$ ou C_1C_2; nous l'avons désignée par δ et nous avons trouvé, la distance e_1e_2 étant représentée par σ, très-approximativement,

$$\delta = \sigma \sin \omega.$$

Il suffirait donc, pour racheter l'écart δ, que l'axe du faux essieu se courbât de façon que son milieu vînt en un point de la ligne C_1e_2 situé à une distance δ du point e_2; δ serait ainsi la flèche de l'essieu courbé, et l'on voit que cette flèche, nulle quand les coudes des essieux sont verticaux, c'est-à-dire pour $\omega = 0$ ou $180°$, atteint son maximum en valeur absolue quand les coudes sont horizontaux, c'est-à-dire pour $\omega = \pm 90°$.

M. Rarchaert pense que le faux essieu pourrait prendre, pour parer à l'incompatibilité des liaisons, une flèche de 1, 2 et même 3 millimètres, en restant bien loin d'atteindre la limite d'élasticité; sur ce point, et contrairement à son habitude, M. Rarchaert se trompe.

Examinons, par exemple, le cas où l'écart à racheter est le plus grand, ce qui arrive quand le coude du faux essieu est horizontal, ainsi qu'on vient de le rappeler. L'essieu, supposé fléchi dans un plan horizontal, prendra ses points d'appui sur les plaques de garde portées par les longerons principaux, plaques dont la distance $2a$ est égale à $1^m,30$, ainsi que le montre le dessin du faux essieu (Pl. IV, *fig.* 17).

Le faux essieu est imparfaitement encastré entre ses plaques de garde; nous ne tiendrons pas compte de cet encastrement, et nous appliquerons les formules qui conviennent au cas d'un solide reposant librement à ses extrémités sur deux appuis et sollicité en son milieu par une force 2P. Ce cas est celui qui donne la plus grande flèche de flexion pour la même charge ou fatigue R des fibres du métal; nous obtiendrons donc ainsi une valeur maxima et extrême de la flèche que peut prendre l'essieu, sans que

son élasticité soit compromise; on sait d'ailleurs que c'est au milieu de l'essieu que se trouve, dans de pareilles conditions, la section dangereuse ou, si l'on veut, que la charge R des fibres est la plus grande.

E étant le coefficient d'élasticité du métal et r le rayon de l'essieu, que nous supposerons égal à $0^m,080$, les valeurs de la flèche f et de la charge maxima R du métal s'obtiendront au moyen des deux relations

$$f = \frac{Pa^3}{3\pi Er^4},$$

$$R = \frac{Pa}{\pi r^3}.$$

On tire de là

$$\frac{f}{R} = \frac{a^2}{3Er}.$$

En prenant pour unité de longueur le millimètre, par suite pour unité de surface le millimètre carré, prenant d'autre part le kilogramme pour unité de poids, on devra faire, dans la relation précédente,

$$E = 20.000, \qquad a = 650, \qquad r = 80,$$

ce qui donne

$$\frac{f}{R} = \frac{\overline{650}^2}{3 \times 20.000 \times 80} = \frac{4.225}{48.000} = 0,088.$$

Les meilleurs fers atteignent leur limite d'élasticité sous une charge de 14 à 15 kilog. par millimètre carré, d'autre part, les auteurs les plus autorisés pensent qu'on ne doit pas pousser cette charge à plus de 7 kilog. à $7^k,5$ pour les pièces les plus allégées; pour les charges accidentelles et tout à fait passagères, il serait imprudent de s'exposer à les voir dépasser 10 kilog.; or, pour R = 10 kilog., la formule précédente donne seulement $f = 0^{mm},88$, soit moins de 1 millimètre.

M. Rarchaert se trompe donc quand il dit que son essieu pourrait prendre une flèche de 1, 2 et même de 3 millimètres. tout en restant bien loin de la limite d'élasticité du métal ; une flèche de 1 millimètre seulement serait excessive et déjà très-compromettante, car le fer travaillerait alors sous un effort de 11 kilog. environ.

A l'appui de son opinion, M. Rarchaert, dans une nouvelle note explicative, cite des expériences qui ont été faites sur la flexion des essieux de wagons chargés, par le chemin de fer de Cologne.

Dans ces essais, un essieu de $0^m,12$ de diamètre en fer, et dont la longueur approximative devait être de $1^m,50$, se serait élevé en son milieu de $2^{mm},2$, valeur de la flèche en ce point, sous une charge de 6.600 kilog.; c'est la plus grande charge sous laquelle on ait opéré.

L'essieu était ici simplement porteur, et aucune force ne lui était appliquée au milieu de sa longueur ; la formule précédente ne peut lui être appliquée, et l'on doit faire usage de la suivante :

$$\frac{f}{R} = \frac{a^2}{2Er}.$$

Dans cette relation il faut faire

$$a = 750, \qquad E = 20.000, \qquad r = 60;$$

on obtient ainsi

$$\frac{f}{R} = \frac{\overline{750}^2}{2 \times 20.000 \times 60} = 0,234.$$

Pour $f = 2^{mm}2$, on trouve $R = \dfrac{2,2}{0,234} = 9^k,40$.

Mais après la traversée de la gare avec la même charge, la flèche avait passé de $2^{mm},2$ à $2^{mm},6$, ce qui montre que l'élasticité était déjà un peu compromise ; aussi n'a-t-on pas poussé les expériences plus loin, bien qu'après chaque

déchargement les essieux fussent revenus à leur forme primitive.

Ainsi donc la flexion du faux essieu ne pourrait être, comme le dit d'ailleurs, en fin de compte, M. Barchaert lui-même, qu'un appoint pour racheter l'écart dû à l'incompatibilité des liaisons, et puis il faut encore remarquer que, même dans les circonstances normales, c'est-à-dire sur une voie régulière où les liaisons ne sont pas incompatibles, le faux essieu subit une flexion variable par l'action des forces qui lui sont appliquées. Quand, par suite d'une irrégularité de la voie, une flexion accidentelle tendrait à se produire, elle devrait se composer avec la flexion normale ou régulière, et d'une manière générale on comprend que ces flexions pourraient partiellement tantôt s'ajouter, tantôt se retrancher l'une de l'autre; cela dépendrait des directions dans lesquelles ces deux flexions tendraient à se produire. Il n'y aurait aucune difficulté sérieuse à pousser à fond, comme je m'en suis assuré, l'étude de cette question particulière, mais il n'y aurait qu'une utilité médiocre à le faire, du moment qu'on sait qu'on ne peut compter que sur une flexion très-limitée du faux essieu pour parer à l'incompatibilité des liaisons, et qu'il est nécessaire d'ailleurs, tant au point de vue de la conservation du mécanisme que de la régularité du mouvement des organes dans les circonstances ordinaires, que cette flexion soit aussi faible que possible. Si, en effet, on cherchait, suivant l'expression consacrée, à alléger le faux essieu autant que la sécurité le permet et en réduisant son diamètre au strict nécessaire, de façon à favoriser autant qu'on le peut sa flexibilité, cette flexibilité, dans les conditions normales où les liaisons n'offrent aucune incompatibilité, tendrait d'autant plus à fatiguer ces liaisons qu'elle serait plus grande, et l'on aurait créé dans le mécanisme un vice permanent en vue de parer à des difficultés tout accidentelles, ce qui n'est pas acceptable.

Il faut donc conclure de ce qui précède que, de tous les moyens indiqués pour satisfaire à l'incompatibilité théorique des liaisons en cas d'irrégularité de la voie, celui sur lequel il faut le plus compter, et dont il faut par suite favoriser l'action, consiste dans un jeu convenable des articulations des essieux coudés et surtout du faux essieu avec la bielle de transmission.

En étudiant l'incompatibilité des liaisons pour le cas où la voie offre des irrégularités, nous avons supposé que ces irrégularités se présentaient brusquement et que le châssis général n'avait pas le temps d'obéir au mouvement accidentel que prenait l'essieu coudé de l'un des trucks, lesquels ne sont reliés à ce châssis général que par l'intermédiaire des ressorts de suspension; c'est donc un cas extrême et aigu que nous avons examiné; c'est celui qui se présentera à peu près rigoureusement quand l'obstacle ou l'irrégularité rencontrée sera brusque et de courte étendue dans le sens de la longueur du rail.

Mais il y a d'autres irrégularités, et ce sont les plus fréquentes, qui consistent dans des dénivellations plus prolongées des rails, dénivellations qui se présentent progressivement et en quelque sorte avec douceur. On peut donc supposer, comme autre cas-limite ou extrême, que dans le franchissement de ces irrégularités les ressorts aient le temps d'obéir entièrement aux déplacements que les dénivellations communiquent à un ou plusieurs essieux des trucks porteurs, ce qui sera d'autant plus exact que la locomotive aura une plus faible vitesse; alors l'incompatibilité des liaisons sera notablement atténuée.

Supposons, en effet, comme exemple, que l'essieu coudé du truck d'avant soit soulevé d'une hauteur Δ et qu'en même temps la cheville ouvrière de ce truck soit soulevée d'une hauteur Δ', représentée par KK_1 sur la *fig* 18, Pl. IV.

Sur cette figure, AA' représente les longerons du châssis

général dans leur position normale, c'est-à-dire sur une voie régulière, horizontale par exemple ; AK et A'K' représentent les chevilles ouvrières qui viennent en K et K' reposer par leurs bases sur les centres des deux trucks au niveau des essieux de ces trucks. Le rectangle K'A'AK formé par les longerons principaux et les chevilles ouvrières doit être regardé comme entièrement rigide.

Si la base K de la cheville ouvrière d'avant se trouve accidentellement élevée par une irrégularité de la voie et portée en K_1, en décrivant un arc de cercle KK_1 égal à Δ' et dont le centre est en K', le rectangle rigide K'A'AK se transportera en $K'A'_1A_1K_1$, et le milieu M des longerons, où sont placées les plaques de garde du faux essieu, viendra en M_1, en s'écartant de la verticale MH du point M, vers l'arrière, d'une distance M_1N dont il est facile d'avoir l'expression.

En effet, tout le système ayant tourné d'un mouvement commun, les angles $M_1K'M$ et $K_1K'K$ ont la même valeur et sont égaux l'un et l'autre à $\frac{KK_1}{2D}$ ou $\frac{\Delta'}{2D}$, 2D étant la distance KK' des deux chevilles ouvrières. D'autre part, si l'on désigne, comme par le passé, par h la distance MH, si l'on regarde le petit arc MM_1 comme une ligne droite perpendiculaire à MK', si l'on remarque enfin que les deux triangles MK'H et MM_1N ont leurs côtés à très-peu près perpendiculaires et peuvent par conséquent être regardés comme semblables, on obtiendra les relations

$$MM_1 = MK' \frac{\Delta'}{2D}$$

$$\frac{M_1N}{MM_1} = \frac{h}{MK'},$$

d'où l'on tire, en désignant par σ' la distance M_1N,

$$\sigma' = M_1N = \frac{\Delta' h}{2D}.$$

Ainsi, dans le cas examiné, les plaques de garde du faux essieu et, par suite, l'axe de cet essieu rétrograderont vers l'arrière de la machine de la longueur σ'; si en même temps l'essieu coudé du truck d'avant est soulevé de Δ, le centre du cercle, que tend à décrire le sommet de la bielle de transmission, sera aussi rejeté vers l'arrière d'une quantité σ égale à $\frac{\Delta h}{2l}$, ainsi que nous l'avons précédemment établi. La différence à racheter horizontalement sera donc seulement $\sigma-\sigma'$, et si on la désigne par η, on aura

$$\eta = \sigma - \sigma' = h\left(\frac{\Delta}{2l} - \frac{\Delta'}{2D}\right);$$

ce qui revient à dire, en se reportant à la *fig.* 11, que le centre du cercle que tend à décrire le sommet de la bielle de transmission se trouvera encore en e_1, mais que l'axe du faux essieu, au lieu de se trouver en e_2, se trouvera en un point intermédiaire entre e_1 et e_2, et à une distance σ' de e_2.

La relation précédente montre que pour que η fût nul, il faudrait que Δ et Δ' fussent dans le rapport des distances $2l$ et $2D$. Dans la machine de M. Rarchaert, la distance $2l$ des essieux coudés des deux trucks est de $1^m,60$ et la distance $2D$ des chevilles ouvrières est de $2^m,80$.

La quantité Δ', dont est soulevée la cheville ouvrière d'avant, sera la moyenne des quantités Δ et Δ'' dont sont soulevés l'essieu coudé et l'essieu droit du truck d'avant, c'est-à-dire qu'on aura

$$\Delta' = \frac{\Delta + \Delta''}{2}.$$

Or les valeurs simultanées de Δ et de Δ'' et, par suite, celle de leur moyenne Δ', pourront être très-différentes, suivant le profil de l'irrégularité de la voie et suivant la position de la machine.

Supposons que cette irrégularité soit plus courte que la distance des deux essieux d'un même truck, de manière que les positions en hauteur de ces essieux n'en soient pas simultanément affectées; supposons toujours que la vitesse de la machine soit assez faible pour que l'action de l'irrégularité de la voie se transmette sans retard appréciable au châssis général, de façon que l'on puisse appliquer la formule

$$\eta = h\left(\frac{\Delta}{2l} - \frac{\Delta'}{2D}\right).$$

Ce sera l'essieu droit d'avant qui franchira d'abord l'irrégularité; alors Δ sera nul, Δ' sera égal à $\frac{\Delta''}{2}$, Δ'' représentant la hauteur de l'irrégularité, c'est-à-dire la quantité dont l'essieu est soulevé; on aura alors

$$\eta = -\frac{\Delta' h}{2D} = -\Delta' \times \frac{0,25}{2,80} = \frac{-\Delta'}{11,20} = \frac{-\Delta''}{2 \times 11,20}.$$

Si nous supposons $\Delta'' = 20$ millimètres, η sera négatif et un peu moindre que 1 millimètre, en valeur absolue.

L'essieu d'arrière du truck, c'est-à-dire l'essieu coudé, n'arrivera sur l'obstacle, d'après notre hypothèse, qu'après que l'essieu d'avant l'aura complétement franchi; alors Δ' sera égal à $\frac{\Delta}{2}$, et l'on aura

$$\eta = \frac{\Delta h}{2l} - \frac{\Delta h}{2 \times 2D} = \frac{\Delta \times 0,25}{1,60} - \frac{\Delta \times 0,25}{2 \times 2,80} = \frac{\Delta}{6,40} - \frac{\Delta}{2 \times 11,20},$$

ou $$\eta = 0,156\,\Delta - 0,044\,\Delta = 0,112\,\Delta.$$

Pour $\Delta = 20^{mm}$, nous aurons donc $\eta = 2^{mm},24$, au lieu de $3^{mm},12$, comme nous l'avons trouvé précédemment dans l'hypothèse où les ressorts n'ont pas le temps d'agir.

Si l'élévation Δ'' de l'essieu d'avant du truck était égale

à l'élévation Δ de l'essieu d'arrière, on aurait $\Delta' = \Delta$, et il viendrait

$$\eta = 0,156\,\Delta - 0,088\,\Delta = 0,68\,\Delta,$$

ce qui, pour $\Delta = 20^{mm}$, donnerait

$$\eta = 1^{mm},36.$$

Mais on ne pourrait, en général, déterminer les valeurs des soulèvements Δ et Δ'' des deux essieux d'un même truck que si l'on connaissait exactement le profil de l'irrégularité présentée par la surface des rails et la position variable de la locomotive par rapport à cette irrégularité. Il faut donc, si l'on veut aller plus loin, faire des hypothèses sur la forme de ce profil; nous nous bornerons à l'examen d'un seul cas, qui a pour nous, en raison de certains détails qui se sont présentés dans les essais, un intérêt particulier.

Supposons que la machine sorte d'un palier et aborde (Pl. IV, *fig.* 19) une rampe MP, dont nous désignerons la pente par i.

Pour fixer les idées, supposons que le truck d'avant soit engagé par un ou deux de ses essieux sur la rampe, le truck d'arrière se trouvant encore sur le palier.

N, Q et R étant les projections des deux essieux et de la cheville ouvrière du truck sur MP, z et z', les distances NM et RM, on aura

$$\Delta = NN' = zi, \qquad \Delta'' = z'i,$$

et alors

$$\Delta' = QQ' = \frac{\Delta + \Delta''}{2} = \frac{(z + z')\,i}{2},$$

ce qui donne pour l'écart à racheter η

$$\eta = \frac{zhi}{2l} - \frac{(z + z')\,hi}{4D}$$

Pour que cette formule soit exacte, il faut supposer que z et z' sont nuls tant qu'il ne sont pas positifs.

Ainsi, lorsque les roues d'avant R du truck antérieur sont seules entrées sur la rampe ou plan incliné MP, il faut faire Δ, et par suite $z = o$, ce qui donne

$$\eta = -\frac{z'hi}{4D}.$$

η est nul pour $z' = o$, puis devient négatif en croissant en valeur absolue; $2d$ étant la distance des essieux d'un même truck, η atteint donc la valeur

$$\eta = -\frac{dhi}{2D}$$

au moment où les roues d'arrière N de ce truck abordent la rampe. A partir de ce moment, la variable z est positive et l'on doit prendre

$$\eta = \frac{zhi}{2l} - \frac{(z+z')\,hi}{4D},$$

ou, en remplaçant z' par $z + 2d$,

$$\eta = \frac{zhi}{2l} - \frac{(z+d)\,hi}{2D} = zhi\left(\frac{1}{2l} - \frac{1}{2D}\right) - \frac{dhi}{2D},$$

On voit que z croissant, η, toujours négatif, croît aussi, et par conséquent décroît en valeur absolue, et η devient nul quand on a

$$\frac{z}{2l} = \frac{z+d}{2D},$$

d'où l'on tire

$$z = \frac{dl}{D-l} = l,$$

puisque $d = D - l$.

η s'annule donc, quelle que soit l'inclinaison i de la

rampe, quand le faux essieu passe au-dessus du pied M de cette rampe.

La machine s'avançant toujours, η, devenu positif, va croître avec z, et quand les roues d'avant du truck d'arrière arriveront sur la rampe, z sera égal à $2l$, et l'on aura

$$\eta = hi\left(1 - \frac{l}{D}\right) - \frac{dhi}{2D} = hi\left(\frac{D-l}{D} - \frac{d}{2D}\right)$$

ou simplement, puisque $D - l = d$,

$$\eta = \frac{dhi}{2D},$$

ce qui est la valeur absolue maxima déjà trouvée. Il est bien clair, d'ailleurs, qu'en raison de la symétrie du profil par rapport à la bissectrice de l'angle SMP, η va décroître ensuite et s'annuler définitivement quand les roues du dernier essieu arriveront au pied de la rampe.

Ainsi, à ne considérer que les valeurs absolues de l'écart η à racheter et en numérotant les cinq essieux dans l'ordre où ils passent successivement au-dessus de la base M de la rampe, le faux essieu comptant pour le troisième, on peut résumer ce qui précède en disant que η sera nul quand les 1er, 3e et 5e essieux passeront au-dessus du point M, et qu'il sera maximum en valeur absolue quand les 2e et 4e essieux passeront au-dessus de ce point; cette valeur maxima sera, le millimètre étant l'unité de longueur,

$$\eta_m = \frac{dhi}{2D} = \frac{600 \times 250}{2800}\, i = 53{,}5\, i.$$

Si nous faisons $i = \frac{1}{20}$, nous aurons donc :

$$\eta_m = 2^{mm},67.$$

Or, pendant le temps que la machine de M. Barchaert a fonctionné sur le chemin de Vitré à Fougères, elle a dû

aborder des rampes de 5 p. 100 ou $\frac{1}{20}$ avec une vitesse très-faible, il est vrai. Voici dans quelles conditions :

Le diamètre KK′ (Pl. IV, *fig.* 20) des plaques tournantes était inférieur à la distance des essieux extrêmes de la machine Barchaert. Pour tourner cette machine, on faisait usage de deux pièces en fer MP, que nous appellerons *rails-allonges*, que l'on posait sur une des extrémités des rails de la plaque et qui débordaient cette extrémité d'une longueur suffisante. Pour éviter les obstacles qu'on aurait pu rencontrer en tournant la machine, il avait fallu donner à la surface supérieure MP des rails-allonges une inclinaison de $\frac{1}{20}$, et la machine s'est toujours prêtée sans difficulté et sans inconvénient apparent à l'ascension de l'une de ses moitiés sur ce plan aussi fortement incliné ; elle ne l'abordait, il est vrai, qu'avec une vitesse excessivement faible ; mais il n'en fallait pas moins que le jeu des pièces et autres moyens précédemment indiqués rachetassent un écart η_m de $2^{mm},67$, et cela se faisait si naturellement que jamais mon attention ne s'était fixée, pendant les essais, sur les inconvénients que pouvait offrir cette manœuvre anormale, que les dimensions insuffisantes des plaques tournantes rendaient indispensable (*).

(*) Au sujet de la théorie que nous venons d'exposer et de la manœuvre que nous venons d'indiquer, l'observation qui suit me semble mériter qu'on s'y arrête.

Sur une voie régulière, à pente constante, le plan PP′, *fig.* 21, supposé mené parallèlement aux faces des plaques de garde MN et M′N′ du faux essieu et à égale distance de ces plaques est également distant des centres des deux trucks ; il en est de même de l'axe O du faux essieu, axe qui est alors situé dans le plan PP′. Si la machine vient à aborder, avec une vitesse très-faible et de façon que la flèche des ressorts de suspension reste constante, un plan incliné ou une irrégularité de la voie, le plan PP′ ci-dessus défini et l'axe O du faux essieu tendront, d'après ce que nous avons expliqué, à s'éloigner l'un et l'autre, mais de quantités inégales,

Si la pente i d'une rampe était au maximum, comme sur la ligne de Fougères, de $0^m,015$, on aurait $\eta_m = 0^{mm}.80$; mais cette valeur est un minimum dans ces conditions, puisqu'elle suppose que l'effet de soulèvement est, sans retard appréciable, transmis à la cheville ouvrière et aux

---

de leurs positions premières, c'est-à-dire à ne plus rester à égale distance des deux centres des deux trucks. Par suite, l'axe O du faux essieu tendra à sortir du plan PP' et à s'en éloigner d'une distance que nous avons désignée par η et dont nous avons précédemment donné l'expression. Pour fixer les idées, nous supposerons que le faux essieu tend à se porter plus vers l'arrière de la machine que le plan PP'. La quantité η représente l'écart à racheter pour que les liaisons ne soient pas violées; le jeu des articulations rachètera en partie cet écart, et il est facile de concevoir que la lacune restante puisse être comblée, dans le cas d'une très-faible vitesse, de la manière suivante :

Soit η' la valeur de cette lacune nécessairement plus petite que η. Considérons, par exemple, le cas où le jeu des articulations peut le moins facilement parer à l'incompatibilité des liaisons, ce qui correspond à la position horizontale des coudes des essieux.

Le faux essieu, arrêté nécessairement par ses plaques de garde, sera par les liaisons sollicité de se porter encore vers l'arrière d'une quantité η'; il pressera horizontalement dans cette direction sur ces plaques; mais en même temps la bielle centrale de transmission exercera à ses extrémités une pression horizontale égale et dirigée en sens contraire sur les essieux coudés des deux trucks, pression qui se reportera directement sur les bases des chevilles ouvrières situées au même niveau que ces essieux. Nous aurons donc un ensemble de deux forces égales et de directions opposées, appliquées au châssis général et à des niveaux différant de $0^m,25$, la plus élevée de ces forces étant dirigée vers l'arrière et la plus basse vers l'avant de la machine. Ces forces fourniront un couple qui tendra à décharger les ressorts du truck d'avant en surchargeant d'autant les ressorts du truck d'arrière; les premiers de ces ressorts se détendront et la cheville ouvrière d'avant s'élèvera; les seconds se tendront au contraire davantage et la cheville ouvrière d'arrière s'abaissera. Il en résultera un mouvement de rotation ou de bascule du châssis général, qui reportera vers l'arrière les plaques de garde du faux essieu et, par suite, leur plan de symétrie PP', et il suffirait que ce nouveau déplacement fût égal à l'écart η' qui restait à racheter pour que l'incompatibilité des liaisons disparût entièrement.

Voilà donc encore une ressource, au moins en théorie; mais en pratique il n'y faut pas compter, et, de plus, elle serait dange-

longerons principaux, et cela sera d'autant moins exact que la vitesse de la machine sera plus grande. Il faut remarquer, toutefois, qu'aucune machine ne pourrait aborder sans réactions brusques une rampe de $0^m,015$ en sortant d'un palier, et il y a, selon moi, à conclure de ce qui précède que le profil d'une voie bien établie ne doit pas présenter de variation aussi accentuée dans son inclinaison, et qu'il faut raccorder les parties droites de ce profil par des courbes qui fassent disparaître les angles vifs, comme l'angle SMP que suppose la *fig.* 19, Pl. IV.

Une voie très-irrégulière, en mauvais état d'entretien, par exemple, n'offre pas en général d'accidents brusques : les rails y représentent une sorte de surface houleuse où l'on ne pourra circuler qu'à une faible vitesse, quelle que soit la machine què l'on emploie ; alors les ressorts de suspension agiront sans trop de retard sur les longerons généraux, et l'écart à racheter se trouvera notablement atténué. Quant aux dénivellations brusques, de courte étendue, pour lesquelles les ressorts n'ont pas le temps d'agir sensiblement, ce sont des *accidents* qui ne se présenteront presque jamais sur les deux rails à la fois, et nous avons attribué à ces dénivellations, dans les applications des formules qui les concernent, une valeur tout à fait excessive ; nous avons supposé, en effet, que le soulèvement Δ (ou l'abaissement,

---

reuse : 1° Il n'y faut pas compter, car elle ne peut être efficace qu'autant que la machine marche avec une vitesse assez faible pour que les ressorts puissent sans retard appréciable prendre les tensions nécessaires au passage des irrégularités de la voie, ce qui n'a pas lieu en marche régulière. 2° Elle serait dangereuse, parce qu'elle pourrait tellement décharger l'un des deux trucks au moment où il franchirait ces irrégularités, en s'élevant, par exemple, qu'il ne resterait plus assez fortement appuyé sur les rails pour qu'on n'eût pas à craindre des déraillements. Il faut donc éviter de se mettre dans de pareilles conditions, et pour cela il faut, si l'on veut conserver la bielle de transmission triangulaire, admettre franchement un jeu convenable dans les articulations de cette bielle et, de préférence, dans l'articulation de son sommet.

peu importe) du milieu de l'un des essieux coudés des trucks pouvait être de $0^m,02$; cela suppose que l'irrégularité brusque du rail qui amène ce soulèvement est en hauteur de $0^m,04$; c'est beaucoup plus que la saillie des boudins sur les jantes des roues; c'est donc un cas où l'on serait exposé à dérailler avec toute espèce de machine.

L'essieu coudé d'avant étant soulevé par une de ses extrémités, le coussinet de la bielle de transmission que porte son coude se trouve un peu rejeté vers un des bords de la locomotive; mais le coussinet du sommet de cette bielle, que porte le coude du faux essieu, peut librement obéir dans la mesure nécessaire à ce déplacement latéral, puisqu'il a sur la portée du coude un jeu considérable. Pour les déformations de ce genre, il n'y a plus surabondance, et il ne peut y avoir incompatibilité des liaisons. Il est donc inutile d'insister sur ce point, ou plutôt on reconnaîtrait facilement, par un examen approfondi du sujet, qu'il ne peut se présenter, dans ce cas, que des incompatibilités de second ordre tout à fait insignifiantes, tandis que les incompatibilités dans le plan méridien sont du premier ordre tant que la bielle est de forme triangulaire; mais, comme je l'ai dit, elles ne seraient plus encore que du second ordre si la bielle était droite, c'est-à-dire si le faux essieu était au niveau des autres.

CHAPITRE IV.

Étude dynamique de la machine. — Examen des causes qui peuvent altérer sa stabilité.

Dans l'étude que nous nous proposons de faire, nous rapporterons les différentes parties de la machine à trois axes de coordonnées rectangulaires ayant le plus souvent

leur origine O au milieu de l'axe du faux essieu et toujours les directions que nous allons indiquer :

L'axe Ox (*fig.* 22, Pl. V) est horizontal et parallèle à l'axe longitndinal de la machine ; il est dirigé de l'arrière à l'avant et par conséquent dans le sens du mouvement.

L'axe Oy est vertical et dirigé de haut en bas.

L'axe Oz est horizontal et dirigé vers le côté gauche de la machine ; nous appelons côté gauche celui qui est à la gauche du mécanicien regardant en avant. Pour mettre la plus grande clarté possible dans le discours, nous affecterons d'accents et d'indices les lettres désignant les quantités que nous aurons à faire figurer dans nos formules, de manière que le lecteur sache toujours nettement à quelles pièces de l'organisme ces quantités se rapportent ; l'accent simple désignera les pièces du truck d'avant et l'accent double celles du truck d'arrière ; l'indice 1 désignera les pièces du côté droit de la machine et l'indice 2 celles du côté gauche. Les indices pourront dans certains cas être employés autrement, sans qu'il en résulte d'ailleurs aucune obscurité.

Si l'origine O est au milieu de l'axe du faux essieu, le plan vertical xOy passant par l'axe longitudinal Ox continuera à être désigné par le nom de *plan méridien ;* le plan également vertical zOy s'appellera le *plan transversal*, et le plan xOz s'appellera simplement le *plan horizontal.*

Une machine locomotive comporte de nombreuses pièces qui ont des mouvements relatifs par rapport à son ensemble, c'est-à-dire par rapport au châssis général portant la chaudière ; les pistons, leurs tiges, les bielles, les roues, toutes les pièces du mécanisme de la distribution, etc., sont dans ce cas.

Ces mouvements relatifs sont déterminés par les liaisons du mécanisme ; pour les roues et en général pour les organes désignés ordinairement sous le nom de *pièces tournantes*, ils sont circulaires ; pour les pistons et leurs tiges,

ils sont rectilignes-alternatifs; pour les bielles des pistons, ils sont d'une nature plus complexe, mais dans tous les cas ce sont des mouvements relatifs complétement *définis* et *réguliers*, qui sont une conséquence directe de la marche même de la machine.

Il existe d'autres mouvements qu'on peut appeler *perturbateurs* ou *parasites* et qui, loin d'être une condition essentielle de la circulation de la locomotive, tendent à altérer sa stabilité; il importe d'atténuer autant que possible ces derniers mouvements, qui pourraient devenir dangereux et qui se produisent sous l'influence des forces extérieures qui agissent sur la machine, de celles qui se développent dans son intérieur par suite du travail de la vapeur, et enfin de celles qui sont dues à l'inertie des pièces animées de mouvements relatifs réguliers.

Les mouvements parasites dont il s'agit sont possibles dans certaines limites, parce que la machine n'est pas rigoureusement guidée par les rails, et qu'en outre elle n'est pas entièrement rigide, vu que plusieurs de ses parties ne sont liées entre elles que par des ressorts flexibles.

Pour bien fixer les idées supposons qu'une machine, considérée dans son ensemble ou en bloc, si l'on veut, circule sur une voie en alignement droit avec une vitesse constante, et prenant cet état de mouvement comme une première approximation, définissons les mouvements *parasites* ou *perturbateurs* qui peuvent modifier cet état dans chacune des parties de la machine.

1° Il pourra y avoir dans un même tour de roues, c'est-à-dire dans l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs à la même position, des pièces animées d'un mouvement relatif régulier, une variation dans la vitesse même de progression de la machine, vitesse dirigée suivant Ox et qui oscillera, quant à sa grandeur, autour de la vitesse moyenne. Ce mouvement parasite porte ordinairement le nom de mouvement de *recul;* il affecte

nécessairement l'ensemble de la machine, par suite des liaisons établies entre le châssis principal et les trucks-porteurs au moyen des chevilles ouvrières.

2° Il pourra y avoir aussi un mouvement vertical d'ensemble, c'est-à-dire de translation de certaines parties suivant Oy ; nous désignerons ce mouvement sous le nom de *mouvement d'élévation.* Il ne pourra pas exister par exemple pour les essieux des trucks, tant que les roues de ces essieux ne quitteront pas les rails en se soulevant. mais les causes qui tendent à le produire se traduiront alors par des variations de charge. Le mouvement *d'élévation* pourra, au contraire, exister pour le châssis général, et se manifestera par une variation dans la flèche des ressorts de suspension.

3° Un mouvement *latéral* de translation de l'emsemble de la machine pourrait aussi se manifester suivant Oz ; mais il serait limité par la réaction des rails sur les boudins des roues ; nous verrons d'ailleurs qu'il n'a pas de tendance à se produire en alignement droit. Il n'apparaît normalement que dans la circulation en courbe.

4° Certaines parties de la machine pourront, d'autre part, prendre un mouvement de rotation autour de l'axe longitudinal Ox ou de toute autre droite parallèle à cet axe ; ce mouvement, dit mouvement *de roulis*, pourra affecter à la fois le châssis général et les châssis des trucks et sera limité dans son amplitude par la résistance des ressorts, comme nous le dirons plus loin ; mais il ne pourra se manifester sur les essieux mêmes, et les forces qui tendraient à le produire se borneront à faire varier la charge des roues de ces essieux.

5° Les diverses parties de la machine pourront encore avoir des mouvements de rotation dits mouvements de *lacet* autour de la verticale Oy ou de toute autre verticale, et ces mouvements pourront affecter en particulier le

châssis général et les châssis des trucks, qui sont à cet égard entièrement indépendants.

6° Enfin certaines parties de la locomotive, et principalement le châssis général, pourront prendre un mouvement de rotation, dit mouvement de *galop*, autour de l'axe transversal Oz ou de toute autre droite parallèle à cet axe. Le mouvement de galop pour le châssis général se traduira par une variation dans les flèches des ressorts de suspension.

Ces mouvements de *recul*, d'*élévation*, de *translation latérale*, de *roulis*, de *lacet* et de *galop* résument tous les mouvements parasites qui peuvent affecter les diverses parties de la machine, et nous allons chercher quelles sont les forces perturbatrices qui tendent à les produire, en indiquant les moyens qui peuvent être employés pour les prévenir ou du moins pour les atténuer ; nous croyons utile de traiter cette question d'une façon à peu près complète, par la raison que les choses ne se passent pas dans la machine Barchaert, telle qu'elle a été construite, tout à fait de la même manière que dans les machines ordinaires.

Pour chacune des pièces principales de la machine, nous transporterons par l'addition de *couples* toutes les forces qui la sollicitent à l'origine O des coordonnées choisies ; nous obtiendrons ainsi : 1° des forces de *recul*, d'*élévation* et de *translation latérale* respectivement dirigées suivant les axes Ox, Oy et Oz ; 2° des couples de *roulis*, de *lacet* et de *galop* situés dans des plans yOz, zOx et xOy ; ces couples tendront à produire des rotations autour des axes Ox, Oy et Oz ; on regardera ces couples, ou plutôt leurs moments, comme positifs, quand ils tiendront à faire tourner les pièces auxquelles ils sont appliqués dans le sens des aiguilles d'une montre, pour un observateur placé à l'origine O et regardant dans la direction des axes Ox, Oy ou Oz.

Ces conventions posées, indiquons la méthode que nous

allons suivre pour étudier les conditions dynamiques de chacune des parties principales de la machine.

Chacune de ces parties doit être regardée comme en équilibre sous l'action : 1° des forces qui lui sont appliquées et qui le plus généralement lui sont transmises par les liaisons et articulations qui la rattachent aux pièces voisines; 2° des réactions d'inertie de sa propre masse. Comme nous supposons que l'ensemble de la machine a un mouvement rectiligne et uniforme, ces réactions ne pourront provenir que des mouvements relatifs de chaque organe. Nous aurons en conséquence, et par application du théorème de d'Alembert, à écrire pour chaque pièce six équations d'équilibre, où figureront les réactions d'inertie de cette pièce et où figureront aussi souvent des forces représentant certaines résistances illimitées : par exemple, les roues d'un essieu pourront recevoir une surcharge verticale qui augmentera la pression qu'elles exercent sur les rails; cette surcharge ne pourra produire de mouvement, parce que nous supposons que les rails peuvent indéfiniment résister à son action; dans ce cas, l'équation obtenue fera connaître la grandeur de la résistance du rail et ne devra pas renfermer de terme correspondant à la réaction d'inertie de la masse des essieux, puisque la surcharge dont il s'agit ne peut pas produire de mouvement.

Dans certains cas, les mouvements parasites dus aux actions perturbatrices ne seront arrêtés ou plutôt limités que par des résistances déterminées et non indéfinies comme dans l'exemple que nous venons de citer; ainsi le mouvement de galop du châssis général sera gêné et limité par la résistance des ressorts de suspension, résistance déterminée qui ne pourra pas s'opposer entièrement à la production de ce mouvement; l'équation qui y est relative devrait en toute rigueur contenir un terme représentant les réactions d'inertie de la masse du châssis général, et elle en ferait connaître le mouvement.

Parmi les réactions d'inertie, il y a à distinguer celles qui sont déterminées à l'avance, parce qu'elles résultent des mouvements relatifs réguliers des organes, et celles qui correspondent aux mouvements parasites qui peuvent déformer l'ensemble de la machine et altérer sa stabilité.

Les actions des forces dues à la réaction des rails, à la résistance du train et au travail de la vapeur, ainsi que celles dues aux réactions d'inertie des pièces animées de mouvements relatifs réguliers se transmettent, on peut dire, de chaque pièce aux pièces voisines, par l'intermédiaire des liaisons; si ces actions de double provenance, telles qu'elles sont transmises à chaque partie de la machine, se faisaient équilibre sur cette partie, il n'y aurait pas de mouvements parasites; mais cette condition, pour être réalisée, exigerait que les forces de chacune des deux provenances se fissent séparément équilibre; c'est ce qu'il importe de bien expliquer.

Pour que sûr chaque pièce les forces des deux groupes se fissent mutuellement et constamment équilibre, il faudrait que leurs grandeurs variassent toujours dans la même proportion; or il est loin d'en être ainsi, parce que les forces provenant du travail de la vapeur sont d'autant plus grandes que ce travail est plus considérable, tandis que les forces qui proviennent de l'inertie du mécanisme augmentent avec la vitesse de circulation et proportionnellement à son carré.

Si un train descend une pente, la vapeur n'agit que peu ou point, et les forces qui proviennent de cette action n'ont qu'une intensité faible ou nulle; elles peuvent même être renversées, quant au sens de leur direction, dans la marche à contre-vapeur aujourd'hui si employée. Dans les mêmes conditions, les forces provenant des réactions d'inertie peuvent acquérir une grande intensité, parce que la vitesse est généralement considérable. Si, au contraire, le train gravit une rampe, le travail de la vapeur est considérable;

les forces dues à son action, et que les différentes pièces du mécanisme se transmettent de l'une à l'autre, peuvent acquérir une grande intensité; en même temps, la vitesse devenant généralement plus faible, les forces dues aux réactions d'inertie diminuent.

Il est donc impossible que les forces d'un groupe puissent *constamment* équilibrer celles de l'autre groupe sur chaque pièce de la machine, puisqu'en général elles éprouvent des variations inverses. En conséquence, l'équilibre ne pourrait être obtenu qu'autant qu'il serait réalisé séparément entre les forces des deux groupes.

Il faut donc regarder l'ensemble des organes de la machine comme transmettant à la fois des forces de deux catégories indépendantes, savoir : celles qui proviennent de l'inertie des pièces animées de mouvements relatifs réguliers et celles qui proviennent à la fois des actions extérieures et de celles que développe le travail de la vapeur; les forces de la première de ces catégories pourront d'ailleurs seules exister théoriqnement quand la machine circulera, le régulateur fermé, et par suite sans que la vapeur agisse; nous allons commencer par étudier leurs effets et par rechercher les moyens de les équilibrer d'une façon aussi complète que possible au moyen de contre-poids. Ce but ne peut pas plus être entièrement atteint pour la machine Rarchaert que pour les machines ordinaires; il restera donc des forces perturbatrices et des couples perturbateurs qu'il importe de bien connaître et qui produiront des mouvements parasites.

Nous ferons la même étude pour les forces provenant des actions extérieures et de celles dues au travail de la vapeur, et en ajoutant les effets perturbateurs dus à ces forces à ceux dus aux réactions régulières d'inertie, nous connaîtrons entièrement les causes qui produisent les mouvements parasites.

I. DES EFFETS ET DE LA TRANSMISSION DES FORCES DUES AUX RÉACTIONS D'INERTIE DES PIÈCES ANIMÉES D'UN MOUVEMENT RELATIF RÉGULIER. — PERTURBATIONS QUI EN RÉSULTENT DANS LA STABILITÉ DE LA MACHINE.

Pour l'intelligence de ce qui va suivre, le lecteur devra se reporter constamment aux *fig.* 23 et 24, Pl. V, qui représentent l'une et l'autre une projection du mécanisme sur le plan méridien; elles ont surtout pour but de faire connaître les positions que devraient occuper sur les roues les contre-poids partiels propres à équilibrer les diverses forces dues aux réactions d'inertie.

La *fig.* 23 montre ces positions pour le côté droit de la machine; on y a figuré en lignes pleines toutes les pièces du mécanisme qui appartiennent à ce côté; les pièces de l'autre côté, ainsi que celles situées dans le plan méridien, sont figurées en lignes interrompues.

La *fig.* 24 montre les positions des contre-poids pour le côté gauche de la machine, et les pièces du mécanisme qui appartiennent à ce côté y sont seules tracées en lignes pleines.

Il est bien entendu que les contre-poids partiels et distincts qu'il faudrait placer en théorie sur une même roue pour équilibrer diverses forces perturbatrices seront en pratique fondus en un seul ayant un effet équivalent aux effets réunis des contre-poids partiels.

Dans la machine Rarchaert, autant et peut-être plus que dans les machines ordinaires, il faut se préoccuper avant tout d'équilibrer les composantes verticales des forces perturbatrices, afin d'éviter autant que possible des variations dans la charge des ressorts et dans les pressions exercées par les roues sur les rails.

Nous allons donc chercher quels sont les contre-poids qui pourraient équilibrer chacune de ces composantes. Il arrivera pour la plupart d'entre eux qu'ils équilibreront

complétement aussi les composantes horizontales des mêmes forces perturbatrices ; mais cela n'arrivera pas toujours, et nous aurons à examiner quels effets pourront produire sur la stabilité de la machine celles de ces composantes qui n'auront pas été équilibrées entièrement.

Nous allons en conséquence passer successivement en revue les différentes pièces animées de mouvements relatifs réguliers par rapport à l'ensemble de la machine.

1° *Coudes des essieux coudés des trucks, manivelles et bielles d'accouplement de ces essieux.* — Le mouvement de progression de la machine étant toujours supposé rectiligne et uniforme, tous les points des pièces que nous venons d'énumérer décriront d'un mouvement aussi uniforme des circonférences de cercle. Ces pièces appartiennent donc à la catégorie des pièces tournantes ; par suite, les réactions d'inertie de tous leurs éléments se réduiront à des réactions centrifuges qui pourront être complétement équilibrées au moyen de contre-poids convenables placés sur les roues.

Afin de simplifier les écritures, nous introduirons dans toutes nos formules, au lieu des masses, des contre-poids partiels qui devraient être placés près des jantes des roues, les masses de contre-poids fictifs, mécaniquement équivalant aux contre-poids réels et supposés placés à une distance des axes des essieux égale au rayon commun r ou $0^m,25$ de tous les coudes. Les masses de ces contre-poids fictifs seront désignées par la lettre μ accompagnée d'un indice, et l'on saura que pour avoir les masses des contre-poids réels, il faudra réduire μ dans le rapport de $0^m,25$ à la distance, comptée à partir de l'axe de l'essieu, à laquelle on placera le centre de gravité des contre-poids réels. En conséquence, sur les *fig.* 23 et 24 il nous suffira d'indiquer sur quels rayons des roues les contre-poids doivent être placés ; on saura que leurs masses μ sont cal-

culées comme si ces contre-poids se trouvaient à $0^m,25$ de l'axe des essieux.

De même, pour l'évaluation des réactions d'inertie des coudes et manivelles, on supposera, suivant l'expression consacrée, leurs masses *réduites* à la distance r ($0^m,25$) de l'axe des essieux; ce qui reviendra à introduire dans les calculs, au lieu des masses réelles, des masses fictives égales au produit des masses réelles par le rapport à $0^m,25$ de la distance de leur centre de gravité à l'axe de l'essieu.

Ces conventions seront, du reste, appliquées à toutes les parties du mécanisme..

L'équilibre des réactions d'inertie des manivelles et des bielles d'accouplement des essieux des trucks s'obtiendra complétement au moyen de contre-poids de masse fictive μ_1, et diamétralement opposés sur les quatre roues des trucks aux manivelles d'accouplement. Soient m_1 la masse fictive de chacune des manivelles et m'_1 la masse réelle de la bielle d'accouplement dont le centre de gravité est supposé placé au milieu de sa longueur, on devra prendre

$$\mu_1 = m_1 + \frac{m'_1}{2}.$$

Quant aux coudes des essieux coudés des trucks, on les équilibrera aussi complétement au moyen de contre-poids μ_2 placés sur les roues de ces essieux et diamétralement opposés aux coudes, en prenant μ_2 égal à la moitié de la masse fictive m_2 de ces coudes.

Les contre-poids théoriques μ_1 doivent être placés sur les huit roues de la machine, et les contre-poids μ_2 sur les roues seulement des essieux coudés; les *fig.* 23 et 24, Pl. V, indiquent les positions qu'ils doivent occuper ou, pour mieux dire, les rayons sur lesquels leurs centres de gravité doivent être situés.

2° *Bielle centrale de transmission.* — Nous avons vu

dans le chapitre précédent que la bielle centrale de transmission est soumise à des liaisons surabondantes, puisqu'elle est guidée par trois de ses points et qu'il suffirait qu'elle le fût par deux seulement, pour que son mouvement fût déterminé d'une façon complète; nous avons vu encore que, pour que ces liaisons surabondantes ne deviennent pas incompatibles, il était nécessaire de ménager un jeu notable dans l'articulation du sommet de la bielle avec le coude du faux essieu; dans ces conditions ce sera par ses articulations avec les coudes des essieux des trucks que la bielle de transmission sera normalement guidée dans son mouvement, et c'est à ces coudes que les réactions d'inertie de sa masse se transmettront; voyons quelles seront ces réactions.

Tous les points de la bielle centrale décrivent des circonférences de cercle égales à celles décrites par ses trois sommets; on obtiendra les centres de ces circonférences en menant, à partir de chaque point considéré, des droites égales et parallèles à CE, ainsi que le montre la *fig.* 25, Pl. V, qui représente la bielle CC'C'' et les trois essieux E, E', E'' avec leurs trois coudes EC, E'C', E''C'' en projection sur le plan mérien. En particulier le centre de gravité G de la bielle, qui est situé sur la verticale de son sommet C et à une distance GH ou δ au-dessus de la base C'C'' de cette bielle, décrit une circonférence dont le centre O se trouve sur la verticale du point E et à une distance EO égale à GC au-dessous de ce point; cette distance sera exprimée par $h-\delta$, si l'on désigne toujours par h la hauteur CH de la bielle.

Le mouvement de progression de la machine étant toujours supposé uniforme, les réactions d'inertie de chaque élément de la bielle centrale se réduiront aux réactions centrifuges et se composeront, comme on sait, en une résultante unique GI dirigée suivant le prolongement du rayon OG du cercle décrit par le centre de gravité de la bielle. En désignant par m_3 la masse de la bielle, par r la

longueur commune des coudes des essieux et par w la vitesse angulaire du mouvement de rotation, cette résultante GI sera égale à $m_3 w^2 r$.

Nous pouvons transporter la force GI en HK par l'addition d'un couple formé par les forces GI et HJ, cette dernière étant égale et directement opposée à HK.

La force HK appliquée au milieu H de la base C″C′ de la bielle centrale équivaut à deux forces de même direction C′K′ et C″K″, égales l'une et l'autre à la moitié de HK, c'est-à-dire à $\frac{m_3 w^2 r}{2}$ et appliquées, suivant les prolongements des coudes E′C′ et E″C″ des essieux des trucks, au milieu des axes de ces essieux.

Chacune de ces forces $\frac{m_3 w^2 r}{2}$ peut être remplacée par deux autres de mêmes direction, égales à $\frac{m_3 w^2 r}{4}$ et appliquées aux extrémités des essieux et par conséquent au centre des roues. En conséquence, pour équilibrer ces quatre forces perturbatrices $\frac{m_3 w^2 r}{4}$, il suffira de placer, sur chacune des 4 roues des essieux coudés des trucks, des contrepoids directement opposés aux coudes des essieux et dont les masses fictives μ_3 seront toutes égales à $\frac{m_3}{4}$, ainsi qu'il est indiqué sur les *fig.* 23 et 24, Pl. V.

Il nous reste encore le couple perturbateur formé des deux forces égales, parallèles et opposées GI et HJ ; ce couple a pour bras de levier la distance GM des deux forces qui le constituent, et il a pour moment le produit GI × GM. Il peut être remplacé par un antre couple formé de deux forces C′L′ et C″L″ égales, opposées en direction, appliquées aux extrémités C′ et C″ de la base de la bielle centrale et perpendiculaires aux coudes E′C′ et E″C″ des essieux des trucks, à la condition, bien entendu, que les deux cou-

ples aient des moments égaux et de même sens ; or, C″N étant une perpendiculaire aux deux coudes, le moment du second couple sera C′L′ × C′N ; on devra donc avoir

$$C'L' \times C'N = GI \times GM,$$

ou

$$C'L' = GI \times \frac{GM}{C'N}.$$

Or, de la similitude évidente des deux triangles GMH et C″C′N, on déduit

$$\frac{GM}{C'N} = \frac{GH}{C'C''},$$

et par suite

$$C'L' = GI \times \frac{GH}{C'C''}.$$

C′C″ est la longueur $2l$ de la base de la bielle centrale, et GH est égal à δ ; on aura donc, en remplaçant la force GI par sa valeur $m_3 w^2 r$,

$$C'L' = \frac{m_3 w^2 r \delta}{2l}.$$

La force C′L′ et par suite la force C″L″, qui lui est égale en valeur absolue, seront donc constantes pour une même valeur de la vitesse angulaire w et par suite pour une même vitesse de progression de la locomotive.

Les forces C′L′ et C″L″ transmises aux coudes des essieux des trucks peuvent être reportées respectivement sur les axes de ces essieux, en E′P′ et E″P″, au moyen de l'addition de couples respectivement formées des forces égales et opposées C′L′, E′Q′ et C″L″, E″Q″.

Les forces E′P′ et E″P″, égales en grandeur à $\frac{m_3 w^2 r \delta}{2l}$ et appliquées au milieu des axes des essieux coudés des trucks, pourront être rigoureusement et entièrement équi-

librées au moyen de contre-poids placés sur les roues de ces essieux, dans des directions diamétralement opposées à la direction de ces forces et par suite dans les directions E′Q′ et E″Q″ ; les masses fictives μ'_2 de ces contre-poids seront toutes égales à $\frac{m_2\delta}{4}$; elles seront placées, comme l'indiquent les *fig.* 23 et 24, sur des rayons perpendiculaires à la direction des coudes des essieux, et leur valeur devra être d'autant plus grande que le centre de gravité de la bielle centrale sera plus éloigné de sa base C′C″.

Quant aux deux couples C′L′, E′Q′ et C″L″, E″Q″, dont les moments égaux et de signes contraires auraient pour effet de modifier en sens inverse la rotation des essieux coudés des trucks, ils s'équilibreront par l'intermédiaire de la bielle centrale qui rend ces essieux solidaires; il n'y a donc pas à tenir compte de ces couples, dont les effets se composent et s'annihilent par l'intermédiaire des liaisons, et qui ne peuvent en aucune mesure influer sur l'état du mécanisme et la stabilité de la locomotive.

Ainsi, pour les pièces animées de mouvements relatifs réguliers que nous venons de passer en revue, on peut équilibrer rigoureusement les réactions d'inertie dues à ces mouvements au moyen de contre-poids placés sur les roues. Il était essentiel de réaliser cette condition dans la machine Rarchaert, principalement pour la bielle centrale, à laquelle on est forcé de donner une masse considérable, en raison des efforts de flexion auxquels elle est soumise.

3° *Coude du faux essieu. — Manivelles, bielles et tiges des pistons.* — Dans plusieurs notes qu'il m'a remises, et en particulier dans celle qui doit paraître et même temps que ce mémoire, M. Rarchaert a fait remarquer qu'en disposant, comme il l'a fait, les manivelles des roues et celles du faux essieu en opposition avec les coudes de ces essieux,

c'est-à-dire de manière que ces coudes soient opposés sur chaque essieu à la bissectrice de l'angle formé par les manivelles qu'il porte à ses extrémités, on réalise déjà un équilibre partiel. Cela est vrai pour certaines forces perturbatrices et ne l'est pas pour d'autres, notamment pour les couples qui tendent à produire les mouvements de *lacet* et de *roulis*, ce qui tient à ce que le coude de chaque essieu est situé en son milieu et que les manivelles sont placées à chacune de ses extrémités, de sorte que l'opposifion des masses tournantes, dont parle M. Rarchaert, n'existe, en quelque sorte, qu'en projection sur le plan vertical méridien.

M. Rarchaert n'a pas cherché à équilibrer les réactions d'inertie qui affectent directement le faux essieu, au moyen de contre-poids placés sur cet essieu lui-même, ce qui aurait constitué la solution la plus directe et aussi, comme on va le voir, la plus complète du problème. A-t-il cherché à réaliser cet équilibre, du moins pour les composantes verticales des réactions d'inertie qui nous occupent, en calculant en conséquence les contre-poids qu'il a placés sur les roues ? Je ne saurais le dire aujourd'hui, mais sa note semble l'indiquer : il paraît croire qu'avec cette deuxième solution on peut arriver à un équilibre incomplet, sans doute, mais comparable à celui qu'on obtient dans les machines ordinaires. C'est une erreur dont je suis peut-être la cause; car je l'ai commise moi-même dans ma première rédaction, qui a été communiquée à M. Rarchaert. Trouvant que mes deux mémoires primitifs atteignaient une étendue déjà considérable et désirant les abréger le plus possible, j'avais trop raisonné par analogie, trop sacrifié à la brièveté, et j'étais arrivé ainsi à commettre des inexactitudes. C'est ce qui m'a conduit à refondre entièrement le présent chapitre de mon travail et à traiter *complètement* la question de la stabilité de la machine. J'espère que tout ce qui va suivre est rigoureusement exact.

Je vais d'abord examiner la première solution du problème, c'est-à-dire examiner comment et dans quelle mesure on peut équilibrer les réactions d'inertie qui affectent directement le faux essieu, au moyen de contre-poids placés sur cet essieu lui-même. J'examinerai ensuite la deuxième solution, qui consisterait à remplacer ces contre-poids par d'autres fixés sur les roues, et je montrerai en quoi cette deuxième solution est inférieure à la première.

La première solution peut être en pratique très-simplement obtenue et, comme elle est la meilleure, il convient de la faire connaître, bien que dans la construction de sa machine M. Rarchaert ne l'ait pas réalisée. Pour l'obtenir, il suffirait de fixer sur le faux essieu, dans le plan vertical de chacune des manivelles qu'il porte à ses extrémités, des contre-poids convenablement calculés et placés; ces contre-poids auraient la forme de secteurs comme ceux qui ont été placés dans le même but sur le faux essieu des machines à quatre roues du chemin de fer de Vitré à Fougères, et leur adoption n'entraînerait aucune modification dans la disposition générale de la machine Rarchaert.

Nous représentons sur les *fig.* 26 et 27, Pl. V, qui sont des projections sur le plan vertical méridien, la position du faux essieu E, de son coude EC et de ses deux manivelles extrêmes EM_1 et EM_2; sur ces figures nous indiquons les positions que doivent occuper, à chacune des extrémités de l'essieu, les contre-poids destinés à réaliser, dans la mesure du possible, l'équilibre des réactions d'inertie qui lui sont directement appliquées.

Soit m_4 la masse fictive du coude du faux essieu appliquée, suivant nos précédentes conventions, à la distance r ou $0^m,25$ de cet essieu. Il est bien évident que l'on équilibrerait complétement les réactions d'inertie de cette masse, en plaçant aux deux extrémités du faux essieu, et en opposition directe avec ce coude, des contre-poids dont les

masses fictives μ_4 seraient l'une et l'autre égales à $\frac{m_4}{2}$, ainsi que le montrent les *fig.* 26 et 27.

Soit m_5 la valeur des masses fictives des deux manivelles EM_1 et EM_2 que porte le faux essieu à ses extrémités; ces masses fictives étant toujours supposées appliquées à la distance r de l'axe de l'essieu, bien que rien ne s'oppose à ce que la longueur r' des manivelles soit différente de r. Pour équilibrer complétement ces deux manivelles, il suffira d'opposer directement à chacune d'elles des contrepoids dont les masses fictives μ_5 seront égales à m_5, comme l'indiquent les mêmes figures.

Occupons-nous maintenant des réactions d'inertie des bielles des pistons.

Nous comptons les angles dans le sens du mouvement de rotation et à partir d'une verticale dirigée de bas en haut; ω étant toujours l'angle du coude du faux essieu, α_1 et α_2 les angles des manivelles avec cette verticale, puisque le coude est directement opposé à la bissectrice de l'angle droit formé par les deux manivelles, on aura pour la manivelle du côté droit

$$\alpha_1 = \omega + 135^\circ,$$

et pour la manivelle du côté gauche

$$\alpha_2 = \omega - 135^\circ.$$

Considérons un des côtés quelconques de la machine et désignons par α l'angle que forme la manivelle de ce côté avec une verticale dirigée de bas en haut, ainsi que l'indique la *fig.* 28.

EM représente la manivelle, MN la bielle, NP la tige du piston et P le piston lui-même; la longueur de la bielle sera désignée par b, et sa masse par m_6.

Le tout étant rapporté aux coordonnées rectangulaires Ex et Ey et r' étant la longueur EM de la manivelle, l'or-

donnée de son extrémité M sera $-r'\cos\alpha$. L'ordonnée y d'un point quelconque S de la bielle, dont la distance à la petite tête N de cette bielle sera représentée par λ, aura pour valeur :

$$y = -\frac{\lambda r'}{b}\cos\alpha;$$

la vitesse verticale $\frac{dy}{dt}$ du point S sera par suite

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\lambda r'}{b}\sin\alpha\,\frac{d\alpha}{dt},$$

ou en remplaçant $\frac{d\alpha}{dt}$, c'est-à-dire la vitesse angulaire de la rotation, par sa valeur w que nous supposons constante :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\lambda r' w}{b}\sin\alpha.$$

L'accélération verticale du point S sera par suite

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\lambda r' w}{b}\cos\alpha\,\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\lambda r' w^2}{b}\cos\alpha.$$

Soit dm la masse d'un élément linéaire infinitésimal de bielle situé à la distance λ du point N ; la composante verticale dY de la réaction d'inertie de cet élément aura pour expression

$$dY = -\frac{d^2y}{dt^2}\,dm = -\frac{\lambda r' w^2}{b}\cos\alpha\,dm.$$

Il nous faut maintenant chercher la résultante Y de toutes les forces verticales élémentaires dY : la grandeur de cette résultante, qui sera évidemment aussi verticale, sera donnée par la relation

$$Y = -\frac{r' w^2 \cos\alpha}{b}\int \lambda\,dm.$$

Quant à son point d'application, sa distance λ_0 au point N sera donnée par la relation

$$\lambda_0 Y = \int \lambda dY = -\frac{r'w^2 \cos \alpha}{b} \int \lambda^2 dm,$$

ce qui donne, en tenant compte de la valeur de Y :

$$\lambda_0 = \frac{\int \lambda^2 dm}{\int \lambda dm}.$$

Si la bielle avait une section constante dans toute sa longueur, on pourrait dans l'expression précédente de λ_0 substituer $d\lambda$ à dm, et l'on aurait alors :

$$\lambda_0 = \frac{\int_0^b \lambda^2 d\lambda}{\int_0^b \lambda d\lambda} = \frac{2}{3} b,$$

ce qui montre que le point d'application de la résultante Y des réactions verticales d'inertie n'est pas situé au centre de gravité de la bielle, et qu'en confondant ces deux points on commet une erreur qui, pour n'avoir pas une grande importance en pratique, n'en est pas moins réelle.

Dans le cas général, la section transversale de la bielle n'est pas constante et la distance λ_1 de son centre de gravite à sa petite tête N est donnée, m_6 étant sa masse entière, par la formule

$$\lambda_1 = \frac{\int \lambda dm}{m_6}.$$

D'autre part $\int \lambda^2 dm$ représente le moment d'inertie de la bielle par rapport au point N, de sorte qu'en désignant

par λ_2 le rayon de gyration de cette bielle par rapport au point N, on aura :

$$\int \lambda^2 dm = m_6 \lambda_2^2.$$

Les formules précédentes conduisent immédiatement à la relation

$$\lambda_0 \lambda_1 = \lambda_2^2$$

ou

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_2^2}{\lambda_1}.$$

La quantité λ_1 représentant la distance du centre de gravité de la bielle à sa petite tête N, s'obtiendra très-facilement.

Supposons, en outre, que l'on suspende la bielle par sa petite tête, qu'on la fasse osciller sous l'action de son propre poids et que l'on détermine la durée de ses oscillations, on en conclura sans peine la longueur du pendule simple équivalent à ce pendule composé, longueur qui sera égale à $\frac{\lambda_2^2}{\lambda_1}$ et par suite à λ_0.

Ainsi donc pour une bielle déterminée et supposée déjà construite, les quantités λ_0 et λ_1 se détermineront pratiquement avec la plus grande facilité ; si la bielle n'est pas construite, on pourra également, d'après les dimensions qu'on se propose de lui donner, calculer λ_0 et λ_1 avec une approximation très-suffisante.

Or, puisque l'on a

$$\int \lambda dm = m_6 \lambda_1,$$

on peut écrire

$$Y = - m_6 r' w^2 \cos \alpha \frac{\lambda_1}{b}.$$

Cette force verticale Y appliquée à la bielle à la distance

λ_0 de sa petite tête N, peut être regardée comme remplacée par les deux forces également verticales Y′ et Y″ appliquées respectivement aux extrémités N et M de la bielle et ayant pour valeurs

$$Y' = \left(1 - \frac{\lambda_0}{b}\right) Y = - m_6 r' w^2 \cos \alpha \frac{\lambda_1}{b} \left(1 - \frac{\lambda_0}{b}\right),$$

$$Y'' = \frac{\lambda_0}{b} Y = - m_6 r' w^2 \cos \alpha \frac{\lambda_1 \lambda_0}{b^2}.$$

Occupons-nous d'abord de la force verticale Y″ qui est appliquée à la grosse tête M de la bielle (*fig.* 28, Pl. V); supposons en même temps que l'on place à chaque extrémité du faux essieu, dans des positions diamétralement opposées aux manivelles, en M′ sur la *fig.* 28, des contre-poids dont les masses fictives μ_6 rapportées à la distance r seront telles que $\mu_6 r$ soit égal à $m_6 r' \frac{\lambda_1 \lambda_0}{b^2}$; les composantes verticales des réactions d'inertie de ces contre-poids équilibreront rigoureusement les forces verticales Y″. Les positions des contre-poids de masse μ_6 sont indiquées sur les *fig.* 26 et 27, Pl. V.

Les mêmes réactions d'inertie auront une composante horizontale égale à

$$- m_6 r' w^2 \sin \alpha \frac{\lambda_1 \lambda_0}{b^2},$$

et qui agira à chacune des extrémités de l'essieu, dans le plan même de la manivelle.

Mais chacune de ces extrémités du faux essieu reçoit d'ailleurs l'effet de la composante horizontale de la réaction d'inertie de la bielle elle-même.

Si l'on se reporte à la *fig.* 28, on verra que l'abscisse x de l'extrémité M de la bielle a pour expression

$$x = r' \sin \alpha.$$

x représente le déplacement dans le sens horizontal de la grosse tête M; x représentera aussi avec une approximation suffisante le déplacement horizontal de tout autre point de la bielle, en négligeant à ce point de vue l'influence de son obliquité. Par suite la vitesse horizontale relative de chaque point de la bielle sera donnée par la formule

$$\frac{dx}{dt} = r' \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} = wr' \cos \alpha,$$

et son accélération, puisque w est supposé constant, par la formule

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -wr' \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} = -w^2r' \sin \alpha.$$

De sorte que la composante horizontale de la réaction d'inertie de la bielle de masse m_6 sera égale à

$$m_6 w^2 r' \sin \alpha.$$

Elle se transmettra à l'extrémité de l'essieu, à laquelle est déjà appliquée, comme nous venons de le voir, une réaction horizontale égale à

$$-m_6 w^2 r' \sin \alpha \frac{\lambda_1 \lambda_0}{b^2},$$

en sorte que la réacton horizontale provenant de la bielle et supportée définitivement par l'extrémité de l'essieu sera égale à

$$m_6 w^2 r' \sin \alpha - m_6 w^2 r' \sin \alpha \frac{\lambda_1 \lambda_0}{b^2}$$

ou bien

$$m_6 w^2 r' \sin \alpha \left(1 - \frac{\lambda_1 \lambda_0}{b^2}\right).$$

Le piston et sa tige qui se meuvent horizontalement auront une accélération horizontale égale à $-w^2 r' \sin \alpha$

et par suite une réaction d'inertie horizontale et égale à $m_7 w^2 r' \sin\alpha$, en désignant par m_7 la masse totale de ces deux pièces ; cette réaction agira sur l'extrémité de l'essieu, comme la précédente, de sorte que cette extrémité sera soumise définitivement à l'action d'une force horizontale égale à

$$\left[m_6\left(1-\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right)+m_7\right]w^2r'\sin\alpha.$$

Distinguons maintenant les deux côtés en mettant dans cette expression, à la place de α, successivement α_1 pour le côté droit et α_2 pour le côté gauche. Remarquons de plus que l'on a

$$\alpha_1=\omega+135^\circ, \qquad \alpha_2=(\omega-135^\circ),$$

d'où l'on conclut

$$\sin\alpha_1=-\sin(\omega-45^\circ), \qquad \sin\alpha_2=-\sin(\omega+45^\circ).$$

Le faux essieu sera donc sollicité à son extrémité droite par une force horizontale égale à

$$-\left[m_6\left(1-\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right)+m_7\right]w^2r'\sin(\omega-45^\circ),$$

et à son extrémité gauche par une force égale à

$$-\left[m_6\left(1-\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right)+m_7\right]w^2r'\sin(\omega+45^\circ).$$

$2a$ étant la longueur du faux essieu, c'est-à-dire la distance des manivelles, on peut supposer les deux forces précédentes transportées par l'addition de couples au milieu de cet essieu, où elles se fondront en une résultante X_0, qui aura pour valeur

$$X_0=-\left[m_6\left(1-\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right)+m_7\right]w^2r'[\sin(\omega-45^\circ)+\sin(\omega+45^\circ)]$$

ou bien en remarquant que

$$\sin(\omega - 45^\circ) + \sin(\omega + 45^\circ) = 2 \sin\omega \cos 45^\circ = \sqrt{2} \sin\omega$$

il vient

$$X_0 = -\left[m_6\left(1 - \frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right) + m_7\right] w^2 r' \sqrt{2} \sin\omega.$$

Les deux couples horizontaux à ajouter ou plutôt leurs moments auront pour expression

$$\left[m_6\left(1 - \frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right) + m_7\right] w^2 r' a \sin(\omega - 45^\circ),$$

et

$$-\left[m_6\left(1 - \frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right) + m_7\right] w^2 r' a \sin(\omega + 45^\circ).$$

Ils se composeront en un couple unique horizontal G_y ayant pour valeur

$$G_y = -\left[m_6\left(1 - \frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2} + m_7\right] w^2 r' a [\sin(\omega + 45^\circ) - \sin(\omega - 45^\circ)]$$

et comme

$$\sin(\omega + 45^\circ) - \sin(\omega - 45^\circ) = 2 \sin 45^\circ \cos\omega = \sqrt{2} \cos\omega,$$

on aura

$$G_y = -\left[m_6\left(1 - \frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right) + m_7\right] w^2 r' a \sqrt{2} \cos\omega.$$

La force horizontale X_0 et le couple horizontal G_y appliqués au faux essieu seront transmis au châssis général ; X_0 constituera une force de *recul* et G_y un couple de *lacet*.

Revenons maintenant aux forces verticales Y' qui agissent sur les glissières qui guident les tiges des pistons et par suite sur le châssis général ; elles proviennent aussi,

comme nous l'avons vu, des réactions d'inertie des bielles; leur expression pour le côté droit est:

$$Y'_1 = -m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\frac{\lambda_1}{b}w^2r'\cos\alpha_1,$$

et pour le côté gauche

$$Y'_2 = -m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\frac{\lambda_1}{b}w^2r'\cos\alpha_2.$$

Or on a

$$\cos\alpha_1 = \cos(\omega+135^\circ) = -\sin(\omega+45^\circ),$$
$$\cos\alpha_2 = \cos(\omega-135^\circ) = \sin(\omega-45^\circ);$$

on peut donc écrire

$$Y'_1 = m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\frac{\lambda_1}{b}w^2r'\sin(\omega+45^\circ),$$
$$Y'_2 = -m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\frac{\lambda_1}{b}w^2r'\sin(\omega-45^\circ).$$

Les forces verticales Y'_1 et Y'_2 sont appliquées au châssis général à des distances u_1 et u_2 en avant du faux essieu; ces distances sont représentées sur la *fig.* 28, Pl. V, par EN; elles ont respectivement et très-approximativement pour valeur

$$u_1 = b + r'\sin\alpha_1,$$
$$u_2 = b + r'\sin\alpha_2,$$

ou bien encore, en remplaçant $\sin\alpha_1$ et $\sin\alpha_2$ par leurs valeurs précédemment trouvées en fonction de l'angle ω,

$$u_1 = b - r'\sin(\omega-45^\circ),$$
$$u_2 = b - r'\sin(\omega+45^\circ).$$

Transportons les deux forces verticales Y'_1 et Y'_2 parallèlement à elles-mêmes dans le plan vertical transversal qui passe par l'axe du faux essieu; pour cela il faudra

ajouter deux couples méridiens, c'est-à-dire parallèles au plan vertical méridien et dont les moments, d'après nos conventions, auront respectivement pour expression $Y'_1 u_1$ et $Y'_2 u_2$; leur ensemble équivaut à un couple méridien ou de *galop* G_z, qui aura pour valeur

$$G_z = (Y'_1 u_1 + Y'_2 u_2),$$

ou bien, en remplaçant Y'_1, Y'_2, u_1 et u_2 par leurs valeurs,

$$= m_6\left(1 - \frac{\lambda_0}{b}\right)\frac{\lambda_1}{b} w^2 r' \left\{ \begin{array}{c} b[\sin(\omega + 45^\circ) - \sin(\omega - 45^\circ)] \\ -r'[\sin(\omega + 45^\circ)\sin(\omega - 45^\circ) - \sin(\omega - 45^\circ)\sin(\omega + 45^\circ)] \end{array} \right\}$$

c'est-à-dire en remarquant que $\sin(\omega + 45^\circ) - \sin(\omega - 45^\circ)$ est égal à $\sqrt{2}\cos\omega$, comme on l'a trouvé précédemment,

$$G_z = m_6\left(1 - \frac{\lambda_0}{b}\right)\lambda_1 w^2 r' \sqrt{2}\cos\omega.$$

Les deux forces verticales Y'_1 et Y'_2, qui par l'addition du couple G_z sont désormais appliquées dans le plan transversal passant par le faux essieu, peuvent être reportées parallèlement à elles-mêmes dans le plan méridien, par l'addition de deux couples transversaux respectivement à $Y'_1 a$ et $-Y'_2 a$.

Ces couples se composeront en un seul G_x, qui constituera un couple de *roulis* appliqué au châssis général et qui aura pour expression

$$G_x = (Y'_1 - Y'_2)a.$$

Il faut y joindre, bien entendu, la résultante Y_0 des deux forces Y'_1 et Y'_2 transportées à la même origine, et l'on a :

$$Y_0 = Y'_1 + Y'_2.$$

En remplaçant Y'_1 et Y'_2 par leurs valeurs et en se rappe-

lant que sin (ω + 45°) — sin (ω — 45°) est égal à $\sqrt{2}$ cos ω, on aura :

$$Y_0 = m_6 \left(1 - \frac{\lambda_0}{b}\right) \frac{\lambda_1}{b} w^2 r' \sqrt{2} \cos \omega.$$

De même, si l'on remplace Y'_1 et Y'_2 par leurs valeurs dans l'expression du couple G_x, et si l'on remarque que sin (ω + 45°) + sin (ω — 45°) est égal à $\sqrt{2}$ sin ω, on aura :

$$G_x = m_6 \left(1 - \frac{\lambda_0}{b}\right) \frac{\lambda_1}{b} w^2 r' a \sqrt{2} \sin \omega.$$

Ainsi, en résumé, les causes perturbatrices de la stabilité de la machine dues aux réactions d'inertie des pièces animées de mouvements relatifs réguliers et qui n'auront pas été équilibrés par les contre-poids que nous avons indiqués se réduiront :

1° A une force de *recul* X_0,
2° A une force d'*élévation* Y_0,
3° A un couple de *roulis* G_x,
4° A un couple de *lacet* G_y,
5° A un couple de *galop* G_z.

Toutes ces causes perturbatrices sont appliquées au châssis général et rapportées à un système de coordonnées rectangulaires, dont l'origine est au milieu de l'axe du faux essieu.

Cette première solution du problème des contre-poids mettrait la machine Rarchaert, au point de vue des mouvements parasites dus aux réactions d'inertie non équilibrées, absolument dans les mêmes conditions que les machines ordinaires; mais cette solution n'a pas été appliquée par M. Rarchaert, puisqu'il n'a pas été placé de contre-poids sur le faux essieu ; a-t-il cherché, au moyen de contre-poids placés sur les roues, à équilibrer les composantes verticales des réactions d'inertie qui agissent directement sur cet essieu? Ainsi que je l'ai déjà dit, je ne le sais pas.

Voici en tous cas ce qu'il y aurait à faire pour arriver à cette deuxième solution.

Imaginons qu'on enlève les contre-poids μ_4, μ_5 et μ_6 que nous avons supposés placés à chacune des extrémités du faux essieu et dans le plan vertical des manivelles, et considérons, par exemple, ce qui résultera de la suppression des contre-poids μ_4, qui équilibrent le coude du faux essieu.

ω désignant toujours l'angle variable formé par ce coude avec une verticale dirigée de bas en haut, chaque contre-poids μ_4 des *fig.* 26 et 27 fournissait une réaction d'inertie dont les composantes horizontale et verticale avaient respectivement pour valeur

$$-\mu_4 w^2 r \sin \omega$$

et

$$\mu_4 w^2 r \cos \omega.$$

L'enlèvement des contre-poids μ_4 va donc donner lieu à deux réactions horizontales égales l'une et l'autre à $\mu_4 w^2 r \sin \omega$ et appliquées à chacune des extrémités de l'essieu; ces deux réactions seront transmises au châssis général et se composeront en une résultante unique horizontale égale à $2\mu_4 w^2 r \sin \omega$ et située dans le plan méridien au niveau du faux essieu; on peut encore, en remarquant que $2\mu_4 = m_4$, écrire pour la valeur de cette résultante

$$m_4 w^2 r \sin \omega.$$

En même temps, des actions verticales égales à $-\mu_4 w^2 r \cos \omega$ s'exerceront à chaque extrémité du faux essieu et se reporteront d'abord sur les supports de cet essieu, puis successivement pour moitié sur chacune des quatre roues des essieux coudés des trucks; ces roues supporteront une surcharge variable égale à $-\frac{1}{2}\mu_4 w^2 r \cos \omega$. Or, si l'on place sur les quatre roues des contre-poids égaux à $\frac{1}{2}\mu_4$ et diamétralement opposés aux coudes des essieux,

ainsi qu'il est indiqué sur les *fig.* 23 et 24, ces contre-poids fourniront une réaction d'inertie dont la composante verticale sera égale à $\frac{1}{2}\mu_4 w^2 r \cos \omega$; elle équilibrera donc la précédente, et la grandeur de la charge ne variera plus.

Mais les réactions de ces contre-poids nouveaux auront une composante horizontale égale à $-\frac{1}{2}\mu_4 w^2 r \sin \omega$; chaque essieu coudé des trucks sera soumis à ses deux extrémités à l'action d'une pareille force, qui se reportera sur les châssis des trucks par les plaques de garde, et les deux forces égales dont il s'agit se composeront en une résultante horizontale égale à $-\mu_4 w^2 r \sin \omega$, qui sera appliquée au centre du châssis du truck et sera transmise à la cheville ouvrière correspondante et, par suite, au châssis général; cela a lieu pour les deux trucks, et finalement le châssis général est soumis à une force horizontale égale à $-2\mu_4 w^2 r \sin \omega$ ou $-m_4 w^2 r \sin \omega$, qui lui est appliquée au niveau des essieux des trucks, dans le plan méridien.

Mais nous avons montré que le châssis général est aussi soumis pour la même cause à une force égale à $m_4 w^2 r \sin \omega$, appliquée dans le plan méridien, mais au niveau du faux essieu, c'est-à-dire située à une hauteur h au-dessus de la précédente, de sorte que ces deux forces formeront un couple dont le moment, d'après nos conventions, sera égal à

$$m_4 w^2 r h \sin \omega.$$

Ce couple méridien devrait donc être ajouté à l'expression précédemment trouvée pour le couple méridien G_z ou couple de *galop;* ainsi, en cherchant à équilibrer le coude du faux essieu par des contre-poids placés, non plus sur cet essieu, mais sur les roues de la machine, on créerait un nouveau couple perturbateur.

Passons maintenant aux contre-poids μ_5 et μ_6 des *fig.* 26

et 27; au point de vue de l'équilibre, au lieu de supposer qu'on les enlève, on peut supposer qu'on leur oppose diamétralement de nouveaux contre-poids placés en M_1 pour le côté droit et en M_2 pour le côté gauche; du reste, ce que nous dirions pour les contre-poids μ_5 serait à répéter mot à mot pour les contre-poids μ_6.

α_1 et α_2 désignant toujours les angles des deux manivelles EM_1 et EM_2 avec des verticales dirigées de bas en haut, les contre-poids μ_5 ajoutés en M_1 et M_2 auraient des réactions centrifuges égales à $\mu_5 w^2 r$ et dont les composantes horizontales et verticales ont pour valeurs les quantités du tableau suivant.

	CÔTÉ DROIT.	CÔTÉ GAUCHE.
Composantes horizontales.	$\mu_5 w^2 r \sin\alpha_1$.	$\mu_5 w^2 r \sin\alpha_2$.
Composantes verticales. .	$-\mu_5 w^2 r \cos\alpha_1$.	$-\mu_5 w^2 r \cos\alpha_2$.

Les composantes horizontales exerceront leur action sur les plaques de garde du faux essieu et par suite sur le châssis général; les composantes verticales se transmettront aux roues par l'intermédiaire des supports du faux essieu.

Occupons-nous d'abord des composantes horizontales, et transportons-les au point idéal du châssis général qui coïncide avec le milieu de l'axe du faux essieu et qui nous servira d'origine O de coordonnées. Elles se composeront en une résultante horizontale unique dirigée suivant l'axe longitudinal Ox et égale à

$$\mu_5 w^2 r (\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2);$$

mais pour cela il aura fallu ajouter deux couples horizontaux qui se fondront en un seul dont le moment sera égal à

$$\mu_5 w^2 r a (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1),$$

a désignant toujours la demi-longueur du faux essieu.

Si nous remplaçons α_1 et α_2 par leurs valeurs respectives $\omega + 135°$ et $\omega - 135°$, nous aurons, comme d'ailleurs on l'a trouvé précédemment :

$$\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 = - \sqrt{2} \sin \omega$$

et

$$\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1 = - \sqrt{2} \cos \omega;$$

de sorte que nous aurons, appliqués au châssis général :

1° Une nouvelle force de *recul* égale à

$$- \mu_3 w^2 r \sqrt{2} \sin \omega;$$

2° Un nouveau couple de *lacet* égal à

$$- \mu_3 w^2 ra \sqrt{2} \cos \omega.$$

Prenons maintenant les deux composantes verticales et transportons-les aussi à l'origine O de nos coordonnées, c'est-à-dire au milieu de l'axe du faux essieu ; elles s'y résoudront en une résultante verticale égale à

$$- \mu_3 w^2 r (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2),$$

et l'on devra ajouter deux couples transversaux qui se composeront en un seul, dont le moment sera égal à

$$- \mu_3 w^2 ra (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

Or on a

$$\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2 = - \sqrt{2} \cos \omega$$

et

$$\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 = - \sqrt{2} \sin \omega.$$

Notre résultante sera donc égale à

$$\mu_3 w^2 r \sqrt{2} \cos \omega$$

et notre couple égal à

$$\mu_3 w^2 ra \sqrt{2} \sin \omega.$$

La force verticale $\mu_8 w^2 r \sqrt{2} \cos\omega$ se transmettra par l'intermédiaire des supports du faux essieu et par parties égales aux quatre roues des essieux coudés des trucks; chacune de ces roues subira donc une surcharge variable égale à

$$\frac{\mu_8 \sqrt{2}}{4} w^2 r \cos\omega.$$

Si l'on place sur chacune des roues des essieux coudés, dans le plan du coude et du même côté, des contre-poids dont les masses fictives soient égales à $\frac{\mu_8 \sqrt{2}}{4}$ (voir *fig.* 23 et 24, Pl. V), ces contre-poids fourniront chacun une réaction centrifuge dont la composante verticale sera égale à

$$-\frac{\mu_8 \sqrt{2}}{4} w^2 r \cos\omega$$

et qui équilibrera la surcharge précédente.

Reste le couple transversal

$$\mu_8 w^2 ra \sqrt{2} \sin\omega$$

qui se reportera par parties égales, par l'intermédiaire des supports du faux essieu, sur les essieux coudés des trucks; chacun de ces derniers essieux sera donc soumis à un couple transversal égal à

$$\frac{\mu_8 w^2 ra \sqrt{2}}{2} \sin\omega,$$

et, si l'on désigne par $2c$ la distance des roues, c'est-à-dire la largeur de la voie, on voit que la roue de droite recevra une surcharge égale à

$$\frac{\mu_8 w^2 ra \sqrt{2}}{4c} \sin\omega$$

et la roue de gauche une surchage égale à

$$\frac{-\mu_5 w^2 r a \sqrt{2}}{4c} \sin \omega.$$

On équilibrera ces deux forces et l'on maintiendra la charge des roues constante, en ajoutant sur les roues des contre-poids de masses fictives égales à $\frac{\mu_5 a \sqrt{2}}{4c}$ et placés à 90° en arrière du coude l'essieu pour le côté droit et à 90° en avant de ce coude pour le côté gauche; ces positions sont, du reste, indiquées sur les *fig.* 23 et 24.

Voyons maintenant ce que produiront les composantes horizontales des réactions d'inertie de ces nouveaux contre-poids $\frac{\mu_5 \sqrt{2}}{4}$ et $\frac{\mu_5 a \sqrt{2}}{4c}$.

On voit immédiatement que pour les premiers contre-poids les composantes horizontales seront toutes égales à

$$\frac{\mu_5 w^2 r \sqrt{2} \sin \omega}{4}$$

et dirigées dans le même sens; elles se résoudront pour chaque truck en une force égale à $\frac{\mu_5 w^2 r \sqrt{2}}{2} \sin \omega$, qui sera transmise aux chevilles ouvrières, de sorte que le châssis général recevra au niveau des essieux des trucks une nouvelle force de *recul* égale à

$$\mu_5 w^2 r \sqrt{2} \sin \omega,$$

et par suite égale et de sens contraire à celle que nous avons déjà constatée, mais qui est appliquée au niveau du faux essieu, de sorte que l'ensemble de ces deux forces de recul se réduira à un couple méridien et par conséquent de *galop*, dont le moment sera

$$-\mu_5 w^2 r h \sqrt{2} \sin \omega.$$

Passons maintenant aux effets des composantes horizontales des réactions d'inertie des contre-poids $\frac{\mu_5 a\sqrt{2}}{4c}$.

Ces composantes sont égales pour les deux trucks, savoir:
1° Pour le côté droit à

$$-\frac{\mu_5 w^2 ra\sqrt{2}}{4c}\cos\omega;$$

2° Pour le côté gauche à

$$\frac{\mu_5 w^2 ra\sqrt{2}}{4c}\cos\omega.$$

Les deux forces horizontales qui agissent sur chaque truck se réduiront donc à un couple de *lacet* dont le bras de levier sera égal à $2c$ et dont par suite le moment g_y sera

$$g_y = \frac{\mu_5 w^2 ra\sqrt{2}}{2}\cos\omega.$$

Traitons maintenant de la même manière le transport sur les roues des contre-poids μ_6 que nous avions dans la première solution placés sur le faux essieu et qui y occupaient la même position que les contre-poids μ_5; il est bien évident: 1° que nous aurons à placer sur les roues des contre-poids $\frac{\mu_6\sqrt{2}}{4}$ à côté des contre-poids $\frac{\mu_5\sqrt{2}}{4}$ et des contre-poids $\frac{\mu_6 a\sqrt{2}}{4c}$ à côté des contre-poids $\frac{\mu_5 a\sqrt{2}}{4c}$; 2° que nous devrons dans les expressions précédentes de nouvelles causes perturbatrices écrire $\mu_5+\mu_6$ à la place de μ_5, et alors en résumant nos résultats nous trouverons définitivement :

1° Que dans les deux solutions examinées du problème des contre-poids les forces de *recul* X_0 et d'élévation Y_0,

ainsi que le couple de roulis G_z, conservent les mêmes valeurs;

2° Que pour passer de la première solution à la seconde il faut ajouter à l'expression du couple de *galop* G_x les termes

$$m_4 w^2 rh \sin \omega - (\mu_5 + \mu_6) w^2 rh \sqrt{2} \sin \omega,$$

ou en remplaçant μ_5 par sa valeur m_5 et μ_6 par sa valeur $m_6 \frac{r'}{r} \frac{\lambda_0 \lambda_1}{b^2}$,

$$m_4 w^2 rh \sin \omega - \left(m_5 + m_6 \frac{r'}{r} \frac{\lambda_0 \lambda_1}{b^2}\right) w^2 rh \sqrt{2} \sin \omega,$$

ce que l'on peut écrire

$$\left(m_4 r - m_5 r \sqrt{2} - m_6 r' \frac{\lambda_0 \lambda_1 \sqrt{2}}{b^2}\right) w^2 h \sin \omega;$$

3° Qu'il faut aussi ajouter à l'expression du couple de *lacet* G_y, appliqué au châssis général le terme

$$-(\mu_5 + \mu_6) w^2 ra \sqrt{2} \cos \omega$$

ou

$$-\left(m_5 r + m_6 r' \frac{\lambda_0 \lambda_1}{b^2}\right) w^2 a \sqrt{2} \cos \omega;$$

4° Qu'il faut enfin tenir compte de couples de *lacet* g_y agissant sur chacun des deux trucks et égaux à

$$g_y = \frac{(\mu_5 + \mu_6) w^2 ra \sqrt{2}}{2} \cos \omega$$

ou

$$g_y = \frac{1}{2} \left(m_5 r + m_6 r' \frac{\lambda_0 \lambda_1}{b^2}\right) w^2 a \sqrt{2} \cos \omega.$$

Il nous paraît utile, pour bien faire comprendre la différence et le mérite de nos deux solutions du problème des

contre-poids, de résumer dans un tableau comparatif les causes perturbatrices que l'une et l'autre laissent subsister.

CAUSES perturbatrices agissant sur le châssis général.	PREMIÈRE SOLUTION.	DEUXIÈME SOLUTION.
Force de *recul* X_0. . .	$-\left[m_6\left(1-\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right)+m_7\right]$ $w^2r'\sqrt{2}\sin\omega$	Conforme à la première solution.
Force d'*élévation* Y_0.	$m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\frac{\lambda_1}{b}w^2r'$ $\sqrt{2}\cos\omega$.	Id.
Couple de *roulis* G_x.	$m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\frac{\lambda_1}{b}w^2r'a$ $\sqrt{2}\sin\omega$.	Id.
Couple de *lacet* G_y. .	$-\left[m_6\left(1-\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right)+m_7\right]$ $w^2r'a\sqrt{2}\cos\omega$.	$-\left[m_8r+m_6r'+m_7r'\right]$ $w^2a\sqrt{2}\cos\omega$.
Couple de galop G_z. .	$m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\lambda_1w^2r'$ $\sqrt{2}\cos\omega$.	$\left\{\begin{array}{l} m_6\left(1-\frac{\lambda_0}{b}\right)\lambda_1w^2r' \\ \sqrt{2}\cos\omega\ldots \\ +\left[m_4r-m_8r\sqrt{2}-\right. \\ \left.m_6r'\sqrt{2}\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right]w^2h\sin\omega. \end{array}\right\}$
CAUSES perturbatrices agissant sur les châssis de chacun des deux trucks.		
Couple de lacet. . . .	Néant.	$\frac{1}{2}\left[m_8r+m_6r'\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right]$ $w^2a\sqrt{2}\cos\omega$.

Supposons pour un moment que l'on attache invariablement les châssis des trucks au châssis général; alors les

deux couples g_y et le couple G_y de la deuxième solution étant appliqués au même système rigide se composeront en un seul, qui sera égal à

$$-\left[m_0 r'\left(1-\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}\right)+m_1 r'\right]w^2 a\sqrt{2}\cos\omega,$$

c'est-à-dire à la valeur du couple G_y dans la première solution; mais on ne peut pas évidemment lier les châssis des trucks au châssis général; ce serait renoncer à la convergence des essieux et au principe comme au but de l'invention, tandis que la première solution du problème des contre-poids conduit au même résultat, sans rien sacrifier de la flexibilité de la machine.

Dans cette première solution, l'expression de G_y montre qu'au point de vue des mouvements parasites de *lacet*, on a équilibré complétement les réactions d'inertie du coude du faux essieu et de ses manivelles, qu'en équilibrant entièrement et rigoureusement les composantes verticales des réactions d'inertie des bielles des pistons, on a équilibré ou détruit en même temps une fraction $\frac{\lambda_0\lambda_1}{b^2}$ des composantes horizontales de ces réactions, résultat identique à celui qu'on réalise dans les machines ordinaires et dont il faut se contenter.

Dans la seconde solution, si les composantes verticales sont encore équilibrées, les composantes horizontales ne le sont plus du tout; le couple de *lacet* G_y appliqué au châssis général augmente d'intensité, et, en même temps, les châssis des deux trucks sont affectés par les couples de lacet g_y, lesquels sont toujours de signe ou sens contraire au couple G_y.

Quant au couple de galop G_z, son expression contient dans la deuxième solution un terme de plus que dans la première, ce qui augmente la valeur maxima de cette expression; il importe de remarquer que le terme nouveau s'an-

nulerait, h devenant nul, si le faux essieu était placé au même niveau que les essieux des trucks.

La supériorité de la première solution du problème des contre-poids, que nous avons indiquée, sur la deuxième solution, qui paraît avoir été employée par M. Rarchaert, est donc incontestable. Ce qui précède nous paraît résoudre entièrement et rigoureusement le problème, et nous n'avons plus, pour terminer le présent paragraphe, qu'à ajouter quelques observations.

Si l'on se reporte à la fois aux *fig.* 23 et 24, 26 et 27, on devra remarquer qu'en passant du premier système de contre-poids au second, il n'a pas toujours suffi de répartir ces contre-poids sur les roues dans des positions azimutales identiques à celles qu'ils doivent occuper, quand ils sont appliqués sur le faux essieu.

Prenons, par exemple, le contre-poids μ_5 (on dirait absolument la même chose pour le contre-poids μ_6), qui se trouve à l'extrémité droite du faux essieu et qui est représenté sur la *fig.* 26 ; nous trouvons substitués à ce contre-poids, dans la deuxième solution et sur chacune des roues du côté droit, deux contre-poids indiqués sur la *fig.* 23, respectivement égaux à $\frac{\mu_5\sqrt{2}}{4}$ et à $\frac{\mu_5 a\sqrt{2}}{4c}$, et placés sur des rayons à angle droit, dont la bissectrice $E'\mu_1$ ou $E''\mu_1$ a la direction du rayon sur lequel le contre-poids μ_5 était placé dans la première solution ; les deux masses $\frac{\mu_5\sqrt{2}}{4}$ et $\frac{\mu_5 a\sqrt{2}}{4c}$ ne sont pas égales, parce que la longueur $2a$ (2 mèt.) du faux essieu n'est pas égale à la distance $2c$ ($1^m,50$) des roues ; la masse résultante ne devrait plus être placée exactement sur les rayons $E'\mu_1$ et $E''\mu_1$ (*fig.* 23), mais un peu à côté. Cette déviation de la position des contre-poids ne tient donc qu'à ce que les longueurs $2a$ et $2c$ ne sont pas égales.

De même, lorsque nous avons voulu équilibrer les réactions d'énergie de la bielle centrale, nous avons dû opposer sur les roues, au coude de leur essieu, des contre-poids principaux μ_3 et ajouter, dans des positions à angle droit sur celles de ces contre-poids principaux, des contre-poids additionnels μ'_3; si l'on voulait fondre sur chaque roue les contre-poids μ_3 et μ'_3, on arriverait à un contre-poids unique qui ne devrait plus être placé exactement dans les positions qu'occupent les masses μ_3; ici la déviation tient uniquement à ce que le centre de gravité de la bielle centrale n'est pas situé sur sa base C'C''; car si cette condition était remplie, la masse μ'_3, dont nous avons précédemment donné l'expression, serait nulle, et les masses μ_3 équilibreraient complétement la bielle centrale.

Ceci montre que la question des contre-poids, réduite à la réalisation de l'équilibre vertical, n'est pas aussi simple pour la machine Barchaert que pour les machines ordinaires.

Il importe de bien comprendre qu'au moyen des contre-poids, dont nous avons indiqué à la fois la grandeur *et la* position, on ne réalise l'équilibre vertical des réactions d'inertie et qu'on n'assure la constance des charges des roues sur les rails qu'en ce qui concerne les efforts transmis par des liaisons définies et inflexibles, par l'intermédiaire par exemple du faux essieu, de ses supports et des essieux coudés des trucks; c'est la transmission de ces effets qu'il faut surtout éviter ou plutôt équilibrer, parce qu'elle est instantanée et brutale, et qu'elle pourrait amener en certains points déterminés des bandages un martelage systématique et régulier qui contribuerait dans une mesure importante à mettre ces bandages hors de service.

Mais on n'aura pas pour cela assuré l'invariabilité de la pression exercée par les roues sur les rails : en ne considérant à cet égard que les effets des réactions d'inertie dont nous nous sommes seulement occupé jusqu'ici, on ne doit pas oublier qu'il reste en particulier un couple G_z qui aura

pour effet de communiquer au châssis général un mouvement de *galop*, et fera varier périodiquement la charge des deux chevilles ouvrières autour de leur valeur moyenne; ces variations de charge se transmettront aux ressorts de suspension, dont la flèche variera, aux essieux des trucks et aux roues elles-mêmes, dont la pression sur les rails ne sera plus constante. Mais il faut bien remarquer que la transmission de ces efforts sera adoucie par les ressorts, et que le martelage de certaines régions des bandages sera bien moins à redouter. Les masses considérables qui font partie du châssis général et qui prendront part nécessairement aux mouvements parasites, sans lesquels cette transmission ne peut s'effectuer, joueront dans une certaine mesure le rôle de volants ou de régulateurs, et contribueront aussi à adoucir l'effet de ces causes perturbatrices, tandis qu'il n'y aurait aucun adoucissement à attendre dans les effets des causes perturbatrices qui se transmettent par des liaisons rigides ne comportant aucun ressort; mais nous avons vu que pour parer à ces effets les contre-poids suffisent, sinon complétement, du moins dans la mesure réalisée pour les locomotives ordinaires.

Nous n'avons pas tenu compte des réactions d'inertie des pièces de la distribution, c'est-à-dire des excentriques, des bielles de coulisse, des tiroirs et de leur tige, etc. Ces réactions ne sauraient en pratique avoir une influence sérieuse; on pourrait chercher à les équilibrer partiellement au moyen de contre-poids spéciaux; mais pour ne pas allonger ce mémoire, nous nous dispenserons d'entrer dans aucun détail à ce sujet, qui n'a qu'une faible importance.

II. Des effets et de la transmission des forces dues a l'action de la vapeur et aux actions extérieures. — Perturbations qui en résultent dans la stabilité de la machine.

Nous avons complétement étudié les effets des réactions d'inertie des pièces du mécanisme animés de mouvements relatifs réguliers et définis, par rapport à l'ensemble de la machine; nous avons fait connaître la façon dont ces effets se transmettent, la façon dont on peut, au moyen de contre-poids, les équilibrer en grande partie, et enfin les actions pertubatrices qui persistent après la réalisation incomplète de l'équilibre.

Nous n'aurons plus, par suite, à nous occuper des réactions d'inertie, dont le compte est désormais entièrement réglé, dans l'étude des effets et du mode de transmission des forces dues à l'action de la vapeur et aux actions extérieures. Ces dernières sont surtout représentées par la réaction des rails et par la résistance du train remorqué, dans laquelle nous supposerons comprise la résistance propre de la machine, ainsi que la résistance de l'air.

Dans ces conditions, l'ensemble de la machine étant toujours supposé animé d'un mouvement de progression uniforme, chaque partie, chaque pièce du mécanisme devra être regardée comme en équilibre dynamique sous l'action des forces qui lui sont réellement appliquées, et parmi lesquelles figurent naturellement celles qui sont transmises à l'organe considéré par les liaisons auxquelles il est assujetti.

On ne devra pas non plus perdre de vue que parmi ces liaisons les unes sont rigides et absolues, sauf le jeu des articulations, et que les autres, réalisées par des ressorts flexibles, n'ont plus ce caractère.

Cherchons d'abord la valeur approchée Λ de l'effort de traction que peut exercer la machine; Λ représentera aussi,

en valeur absolue, la résistance du train, puisque nous supposons ce train animé d'un mouvement uniforme de progression.

Nous adopterons les notations suivantes, en donnant les valeurs numériques qu'ont, dans la machine Rarchaert, les quantités que nous allons considérer :

Diamètre des pistons	$d_0 = 0^m,400$
Course du piston.	$l_0 = 0^m,500$
Diamètre des roues.	$D_0 = 1^m,100$
Pression effective en kilogrammes et par centimètre carré de la vapeur dans la chaudière.	$p_0 = 9^k,000$

La chaudière est, en effet, timbrée à 9 kilog. et, en adoptant cette valeur pour p_0, nous supposerons que la vapeur travaille avec sa plus grande puissance possible.

Nous admettrons, suivant l'usage, un coefficient de réduction, 0,65, pour tenir compte en bloc de la chute de pression entre la chaudière et les cylindres, de l'excès de la contre-pression sur la pression atmosphérique, de l'application de la détente dans les limites ordinaires, etc.

Dans ces conditions, le travail produit par chaque coup de piston dans une double course, c'est-à-dire pour un tour entier des roues, sera égal à

$$0,65\,\frac{\pi d_0^2 l_0 p_0}{2},$$

et le travail produit par les deux pistons, pour une double course, sera égal à

$$0^m,65\,\pi d_0^2 l_0 p_0.$$

Soit φ l'effort tangentiel moyen transmis par le coude du faux essieu à la bielle centrale; r étant la longueur du coude, le travail de la force φ, dans une tour de roues, sera $2\pi r\varphi$; on devra donc avoir

$$\varphi = \frac{0,65\,d_0^2 l_0 p_0}{2r}.$$

Le mouvement de progression du train et, par suite, le mouvement de rotation des roues étant toujours supposés uniformes, l'effort φ devra être équilibré à la circonférence des roues par une réaction tangentielle des rails, nécessairement égale à l'effort de traction A; on aura donc, $\frac{D_0}{2}$ étant le rayon des roues,

$$A\frac{D_0}{2} = \varphi r,$$

d'où

$$A = \frac{2\varphi r}{D_0} = \frac{0,65\, d_0^2 l_0 p_0}{D_0}.$$

En passant aux valeurs numériques, et en se rappelant que $r = 0.25$, on trouve :

$$\varphi = 9.360 \text{ kilog.},$$
$$A = 4.255 \text{ kilog.}$$

Comme les soupapes se lèvent toujours un peu avant que la vapeur ait atteint la tension pour laquelle la chaudière est timbrée, on peut regarder φ et A comme égaux en chiffres ronds respectivement à 9.000 kilog. et à 4.000 kilog.

La machine garnie pesant 31.000 kilog. environ, on voit qu'elle ne serait exposée à patiner que si le coefficient du frottement de glissement des roues sur les rails devenait inférieur à $\frac{4}{31}$ ou à $\frac{1}{7.75}$; on se trouve donc à cet égard dans de bonnes conditions.

Pour bien se rendre compte de la transmission des efforts dus à l'action de la vapeur et aux actions extérieures, il est nécessaire de considérer séparément l'équilibre dynamique de chacune des parties principales de la machine.

1° *Équilibre du faux essieu.* — Considérons l'un des côtés de la machine et supposons que, de ce côté, les

pièces du mécanisme occupent les positions indiquées sur la *fig.* 29, Pl. V.

Soit F la force qui entraîne le piston et sa tige, et qui est la différence entre la pression de la vapeur et sa contre-pression sur le piston; la force F agit sur la petite tête N de la bielle MN, laquelle fait avec l'axe ox, et au-dessus de lui, dans le cas de la figure, un angle β. Cette force équivaut aux deux forces suivantes, savoir : $\frac{F}{\cos\beta}$, dirigée suivant le prolongement de MN, et une force verticale égale à $-F \operatorname{tang}\beta$.

Cette dernière face exercera son action sur les glissières qui guident la tige du piston et agira, par conséquent, sur le châssis général.

La force $\frac{F}{\cos\beta}$ sera transmise par la bielle MN à l'extrémité M de la manivelle et pourra être reportée, avec sa direction, sur l'axe O du faux essieu, par l'addition d'un couple dont le bras de levier sera égal à $u \sin\beta$, en désignant par u la distance ON; en conséquence, et d'après les conventions que nous avons établies sur la manière d'assigner le signe des couples, le moment de celui dont il s'agit devra s'écrire :

$$Fu \operatorname{tang}\beta.$$

Le signe de ce moment restera toujours le même, parce que F changera de signe en même temps que $\operatorname{tang}\beta$, à l'instant où l'on passera de la course directe du piston à la course rétrograde et inversement.

La quantité $F \operatorname{tang}\beta$ sera par suite constamment positive dans la marche en avant, et constamment négative dans la marche en arrière, comme d'ailleurs le couple $Fu \operatorname{tang}\beta$, qui est le couple de rotation moteur; $\operatorname{tang}\beta$ aura toujours, d'autre part, une valeur absolue assez faible. En effet,

comme le montre immédiatement la *fig.* 29, on a constamment :

$$r' \cos \alpha = b \sin \beta,$$

ou

$$\sin \beta = \frac{r'}{b} \cos \alpha,$$

et, par suite,

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{r' \cos \alpha}{\sqrt{b^2 - r'^2 \cos^2 \alpha}},$$

de sorte que la valeur absolue de tang β varie entre o et $\frac{r'}{\sqrt{b^2 - r'^2}}$; tang β changera de signe avec $\cos \alpha$, car le radical ne devenant jamais nul, conservera toujours le même signe, c'est-à-dire, dans l'espèce, le signe positif.

La force $\frac{F}{\cos \beta}$ étant, comme nous venons de l'indiquer, reportée, par l'addition du couple Fu tang β, sur l'axe O du faux essieu, pourra y être remplacée par une force horizontale F et une force verticale F tang β. Cette dernière force est égale et de signe contraire à la force verticale qui agit en N sur les glissières; elle est constamment positive, c'est-à-dire dirigée de haut en bas dans la marche en avant, et constamment négative dans la marche en arrière (et aussi dans la marche en avant à contre-vapeur).

Si nous examinons maintenant d'une façon spéciale les forces qui agissent sur le faux essieu et si, dans les expressions précédentes, nous employons les indices 1 et 2 pour distinguer le côté droit et le côté gauche de la machine, nous reconnaîtrons facilement que cet essieu est sollicité par les forces suivantes :

1° Par un couple de rotation γ_z, parallèle au plan méridien et égal à

$$\gamma_z = F_1 u_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 u_2 \operatorname{tang} \beta_2;$$

2° Par des forces horizontales F_1 et F_2 appliquées à ses extrémités.

Ces deux forces, transportées au milieu O de l'axe de l'essieu, y donneront une résultante horizontale parallèle à Ox et égale à

$$F_1 + F_2;$$

mais on devra ajouter deux couples également horizontaux qui se composeront en un seul ayant pour moment

$$(F_2 - F_1)\,a;$$

3° Par des forces verticales $F_1 \tang \beta_1$, et $F_2 \tang \beta_2$ appliqués aussi aux deux extrémités de l'essieu ; si on les transporte au point O, elles y donneront une résultante égale à

$$F_1 \tang \beta_1 + F_2 \tang \beta_2;$$

mais il aura fallu ajouter deux couples transversaux dont le moment total sera égal à

$$(F_1 \tang \beta_1 - F_2 \tang \beta_2)\,a.$$

D'autre part, le faux essieu exercera sur ses plaques de garde, dont nous désignerons la distance d'un côté à l'autre de la machine par $2d'$, des efforts horizontaux ξ_1 et ξ_2, et sur ses supports, dont nous désignerons la distance par $2c'$, des efforts verticaux η_1 et η_2 ; il sera donc soumis à des réactions respectivement égales à $-\xi_1, -\xi_2, -\eta_1, -\eta_2$, appliquées sur son axe.

Les forces horzontales $-\xi_1$ et $-\xi_2$ peuvent être transportées au milieu O du faux essieu, où elles donneront une résultante égale à

$$-(\xi_1 + \xi_2),$$

pourvu que l'on ajoute un couple horizontal égal à

$$(\xi_1 - \xi_2)\,d'.$$

De même les forces verticales $-\eta_1$ et $-\eta_2$ peuvent être transportées en O, où elles donneront une résultante égale à

$$-(\eta_1+\eta_2),$$

pourvu qu'on ajoute un couple tranversal égal à

$$(\eta_2-\eta_1)c'.$$

Enfin le faux essieu exercera sur le sommet de la bielle centrale un effet dont nous désignerons les composantes horizontale et verticale par X et Y, et il sera encore soumis à des réactions $-$ X et $-$ Y ; ces dernières réactions sont appliquées à l'extrémité du coude du faux essieux ; on peut les transporter sur son axe en ajoutant un couple méridien égal à

$$-(X\cos\omega+Y\sin\omega)r,$$

r désignant toujours la longueur du coude du faux essieu et ω l'angle qu'il forme avec une verticale dirigée de bas en haut.

Connaissant maintenant toutes les forces qui agissent sur le faux essieu, nous pouvons écrire les équations de son équilibre dynamique réduites à 5, et nous aurons :

$$\begin{gathered}
F_1+F_2-\xi_1-\xi_2-X=o,\\
F_1\tang\beta_1+F_2\tang\beta_2-(\eta_1+\eta_2)-Y=o,\\
(F_2-F_1)a+(\xi_1-\xi_2)d'=o,\\
[F_1\tang\beta_1-F_2\tang\beta_2]a+(\eta_2-\eta_1)c'=o,\\
F_1u_1\tang\beta_1+F_2u_2\tang\beta_2-[X\cos\omega+Y\sin\omega]r=o;
\end{gathered}$$

ou autrement,

$$\begin{gathered}
X+\xi_1+\xi_2=F_1+F_2,\\
Y+\eta_1+\eta_2=F_1\tang\beta_1+F_2\tang\beta_2,\\
(\xi_1-\xi_2)d'=(F_1-F_2)a,\\
(\eta_1-\eta_2)c'=(F_1\tang\beta_1-F_2\tang\beta_2)a,\\
(X\cos\omega+Y\sin\omega)r=F_1u_1\tang\beta_1+F_2u_2\tang\beta_2=\gamma_1.
\end{gathered}$$

Il faut remarquer que $X\cos\omega + Y\sin\omega$ n'est autre chose que l'effort tangentiel φ transmis par le coude du faux essieu à la bielle centrale, ainsi qu'on le voit sans difficulté sur la *fig.* 30; on a donc $\gamma_x = \varphi r$.

Dans les expressions précédentes, on peut remplacer $\tan\beta_1$ et $\tan\beta_2$ par leurs valeurs précédemment trouvées:

$$\operatorname{tang}\beta_1 = \frac{r'\cos\alpha_1}{\sqrt{b^2 - r'^2\cos^2\alpha_1}},\quad \operatorname{tang}\beta_2 = \frac{r'\cos\alpha_2}{\sqrt{b^2 - r'^2\cos^2\alpha_2}},$$

ou approximativement, en ayant égard à la faible obliquité des bielles :

$$\operatorname{tang}\beta_1 = \frac{r'\cos\alpha_1}{b},\quad \operatorname{tang}\beta_2 = \frac{r'\cos\alpha_2}{b}.$$

Si l'on se reporte à la *fig.* 29, où ON représente la quantité u, on voit que l'on a

$$u = r'\sin\alpha + b\cos\beta;$$

or on a aussi

$$\sin\beta = \frac{r'}{b}\cos\alpha,$$

$$b\cos\beta = \sqrt{b^2 - r'^2\cos^2\alpha},$$

$$\operatorname{tang}\beta = \frac{r'\cos\alpha}{\sqrt{b^2 - r'^2\cos^2\alpha}},$$

et l'on en conclut

$$u = r'\sin\alpha + \sqrt{b^2 - r'^2\cos^2\alpha},$$

ou avec une approximation que nous avons déjà admise

$$u = b + r'\sin\alpha;$$

on aura aussi

$$\operatorname{tang}\beta = r'\cos\alpha + \frac{r'^2\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{b^2 - r'^2\cos^2\alpha}} = r'\cos\alpha\left[1 + \frac{r'\sin\alpha}{\sqrt{b^2 - r'^2\cos^2\alpha}}\right]$$

ou approximativement,

$$u \tang \beta = r' \cos \alpha \left[1 + \frac{r' \sin \alpha}{b} \right].$$

Il sera donc très-facile, dans les équations d'équilibre du faux essieu, de remplacer les quantités u_1, u_2, tang β_1, tang β_2 par leurs valeurs exactes ou approchées en fonction des angles α_1 et α_2.

2° *Équilibre de la bielle centrale de transmission.* — Le faux essieu étant en E, *fig.* 30, Pl. V, les essieux coudés en E′ et E″, les coudes de ces essieux en EC, E′C′ et E″C″, enfin la bielle de transmission en CC′C″, on désigne, ainsi qu'il vient d'être dit, par X et Y les composantes horizontale et verticale de l'action exercée sur le sommet C de la bielle triangulaire par le coude du faux essieu; ces composantes peuvent être remplacées par une force tangentielle $C\varphi$ ou φ et par une force radiale CN ou N, la force φ étant regardée comme positive quand elle est dirigée dans le sens du mouvement, et la force N comme positive aussi quand elle est dirigée suivant le prolongement du rayon EC, ainsi d'ailleurs qu'il est indiqué sur la *fig.* 30.

Les mêmes conventions s'appliquent aux forces qui représentent les actions transmises par la bielle centrale aux coudes C′ et C″ des essieux coudés des trucks, forces que l'on peut représenter par leurs composantes horizontales et verticales X′, Y′ et X″, Y″, ou par leurs composantes tangentielles et radiales φ', N′ et φ'', N″.

ω désignant toujours l'angle formé par le coude EC du faux essieu avec une verticale dirigée de bas en haut et cet angle étant compté dans le sens du mouvement, on passera facilement des composantes X et Y aux composantes φ et N d'une même force et réciproquement, au moyen des relations suivantes qui sont souvent d'un usage commode :

$$X = \varphi \cos\omega + N \sin\omega \qquad Y = \varphi \sin\omega - N \cos\omega$$
$$X' = \varphi' \cos\omega + N' \sin\omega \qquad Y' = \varphi' \sin\omega - N' \cos\omega$$
$$X'' = \varphi'' \cos\omega + N'' \sin\omega \qquad Y'' = \varphi'' \sin\omega - N'' \cos\omega$$

$$\varphi = X \cos\omega + Y \sin\omega \qquad N = X \sin\omega - Y \cos\omega$$
$$\varphi' = X' \cos\omega + Y' \sin\omega \qquad N' = X' \sin\omega - Y' \cos\omega$$
$$\varphi'' = X'' \cos\omega + Y'' \sin\omega \qquad N'' = X'' \sin\omega - Y'' \cos\omega$$

Ceci posé, les forces qui agissent sur la bielle centrale sont :

1° en C : X et Y ou φ et N;
2° en C' : $-X'$ et $-Y'$ ou $-\varphi'$ et $-N'$;
3° en C'' : $-X''$ et $-Y''$ ou $-\varphi''$ et $-N''$.

Ces forces doivent être regardées comme se faisant équilibre sur la bielle centrale; comme elles sont toutes situées dans le plan méridien, on devra écrire que les sommes de leurs projections sur les axes E_x et E_y sont nulles, et que la somme de leurs moments pris par un point quelconque du plan méridien, par exemple le sommet C de la bielle, est aussi nulle; ce qui, en désignant toujours par $2l$ la longueur C'C'' de la bielle et par h sa hauteur CH, donnera

$$X = X' + X'', \qquad Y = Y' + Y''$$
$$(X' + X'')h = (Y' - Y'')l.$$

On tire de là

$$Y' + Y'' = Y,$$
$$Y' - Y'' = (X' + X'')\frac{h}{l} = \frac{Xh}{l},$$

et par suite

$$Y' = \frac{1}{2}\left[Y + \frac{Xh}{l}\right],$$
$$Y'' = \frac{1}{2}\left[Y - \frac{Xh}{l}\right],$$

équations auxquelles il faut joindre la suivante

$$X' + X'' = X.$$

On voit que ces trois équations déterminent entièrement les composantes verticales Y′ et Y″ des efforts transmis aux coudes des essieux des trucks, mais qu'elles ne déterminent que la somme $X' + X''$ de leurs composantes horizontales, ce qui s'explique par la raison que les forces X′ et X″ exercées par la bielle sont dirigées suivant la même droite.

Aux trois relations précédentes, on peut substituer les trois suivantes, qui s'en déduisent facilement et qui ont lieu entre les forces φ et N :

$$\varphi' + \varphi'' = \varphi, \qquad N' + N'' = N,$$

$$[(\varphi' + \varphi'')\cos\omega + (N' + N'')\sin\omega]h = [(\varphi' - \varphi'')\sin\omega - (N' - N'')\cos\omega]l$$

ou

$$(\varphi' - \varphi'')\sin\omega - (N' - N'')\cos\omega = \frac{h}{l}[\varphi\cos\omega + N\sin\omega].$$

3° *Équilibre des trucks porteurs et de leurs essieux.* — Nous allons prendre le truck d'avant, par exemple, ce que nous avons à en dire s'appliquant directement et entièrement au truck d'arrière.

Considérons l'essieu coudé E′, que la *fig.* 31, Pl. V, représente en projection sur le plan vertical méridien, et énumérons d'abord les forces assez nombreuses qui lui sont appliquées :

1° A l'extrémité du coude de l'essieu sont appliquées les forces X′ et Y′ ou φ' et N′, que l'on peut supposer reportées sur le milieu de l'axe de cet essieu par l'addition d'un couple méridien, dont le moment γ'_z aura pour valeur

$$\gamma'_z = (X'\cos\omega + Y'\sin\omega)r = \varphi' r.$$

2° Nous avons vu que le faux essieu exerce sur ses supports des actions verticales η_1 et η_2, qui se reporteront, pour moitié de chacun d'eux, sur les essieux coudés des trucks; les efforts $\frac{\eta_1}{2}$ et $\frac{\eta_2}{2}$ sont appliqués de chaque côté du milieu

de l'essieu coudé, à la distance c' de ce milieu ; on peut les supposer ramenés au milieu de l'essieu, où ils se composeront en une résultante $\frac{\eta_1 + \eta_2}{2}$, par l'addition d'un couple situé dans le plan transversal passant par l'axe de l'essieu, et dont le moment sera égal à

$$\frac{(\eta_1 - \eta_2)c'}{2},$$

ou, d'après ce qui a été trouvé antérieurement, à

$$\frac{(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 - F_2 \operatorname{tang} \beta_2)a}{2}.$$

Ce couple, de grandeur et de signe variables, aura pour effet de charger et de décharger alternativement les deux roues de l'essieu coudé ; mais, par suite de la disposition adoptée pour relier le truck à ses essieux, l'effet du couple dont il s'agit ne se transmettra nullement au châssis du truck et ne tendra pas à en altérer la stabilité.

Quant à la résultante $\frac{\eta_1 + \eta_2}{2}$ appliquée au milieu de l'essieu, elle aura pour valeur, d'après ce qui a été établi antérieurement,

$$\frac{\eta_1 + \eta_2}{2} = \frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2 - Y}{2}.$$

3° Aux deux extrémités de l'essieu coudé du truck sont appliquées des forces verticales, qui représentent les efforts exercés par les ressorts sur les mains de suspension.

Par suite du mode de suspension adopté, la charge P′ de la cheville ouvrière, que reçoit le truck à son centre, se répartit par parties égales $\frac{P'}{4}$ sur les quatre mains de suspension, et les deux forces verticales $\frac{P'}{4}$ appliquées à cha-

cune des extrémités de l'essieu coudé se composent en une résultante égale à $\frac{P'}{2}$ et appliquée au milieu de l'axe de cet essieu.

4° L'essieu coudé exerce à ses extrémités, sur les plaques de garde du truck, des actions propulsives horizontales que nous désignerons par ζ'_{c_1} et ζ'_{c_2}, et il est soumis, par suite, de la part des mêmes plaques de garde, à des réactions horizontales égales à $-\zeta'_{c_1}$ et $-\zeta'_{c_2}$, que nous pouvons ramener dans le plan méridien, où elles donneront une résultante $-(\zeta'_{c_1}+\zeta'_{c_2})$, pourvu que l'on ajoute un couple horizontal dont le moment sera égal à $(\zeta'_{c_1}-\zeta'_{c_2})e$, $2e$ désignant la distance des plaques de garde situées aux deux extrémités d'un même essieu.

5° A ses extrémités, l'essieu coudé transmet à l'essieu droit, par les bielles d'accouplement, des efforts horizontaux A'_1 et A'_2; il subit donc des réactions horizontales égales à $-A'_1$ et $-A'_2$, qui sont appliquées aux extrémités des manivelles et qu'on peut supposer ramenées sur l'axe même de l'essieu par l'addition d'un couple parallèle au plan méridien et dont le moment sera égal à

$$-(A'_1\cos\alpha_1+A'_2\cos\alpha_2)r'',$$

r'' désignant le rayon des manivelles d'accouplement, et α_1, α_2 désignant, comme précédemment, les angles de ces manivelles avec une verticale dirigée de bas en haut. Les deux forces horizontales $-A'_1$ et $-A'_2$ peuvent être reportées au milieu de l'essieu, où elles se composeront en une résultante

$$-(A'_1+A'_2),$$

en ajoutant un couple horizontal dont le mouvement sera égal à

$$(A'_1-A'_2)\,i,$$

$2i$ désignant la distance des manivelles d'accouplement d'un même essieu. Il convient d'observer, en outre, que A'_1 et A'_2 changent de signe en même temps que $\cos \alpha_2$ et $\cos \alpha_2$.

6° Aux points de contact b des roues de l'essieu coudé avec les rails, ces roues exercent sur les rails des pressions verticales Q'_{c_1} et Q'_{c_2}, et par suite l'essieu éprouve des réactions verticales $-Q'_{c_1}$ et $-Q'_{c_2}$, que l'on peut reporter au milieu de l'essieu, où elles donneront une résultante $-(Q'_{c_1} + Q'_{c_2})$ par l'addition d'un couple situé dans un plan vertical transversal et dont le moment sera égal à

$$-(Q'_{c_1} - Q'_{c_2})c;$$

7° Enfin, aux mêmes points de contact b, les rails exerceront, sur les roues, des efforts horizontaux f'_{c_1} et f'_{c_2} qu'on pourra supposer reportés sur l'axe de l'essieu, par l'addition d'un couple parallèle au plan méridien de la machine et dont le moment sera égal à

$$-(f'_{c_1} + f'_{c_2})R,$$

R désignant le rayon des roues.

Enfin les forces horizontales f'_{c_1} et f'_{c_2} désormais appliquées aux deux extrémités de l'essieu coudé peuvent être reportées au milieu de cet essieu, où elles donneront une résultante égale à

$$f'_{c_1} + f'_{c_2},$$

pourvu que l'on ajoute un couple horizontal dont le moment sera égal à

$$-(f'_{c_1} - f'_{c_2})c,$$

$2c$ représentant toujours la largeur de la voie, ou la distance des deux roues d'un même essieu.

Maintenant que nous avons réduit toutes les forces qui sollicitent l'essieu coudé du truck à des forces horizontales et verticales toutes appliquées en son milieu dans le plan

méridien et en outre à des couples horizontaux, méridiens et transversaux, nous obtiendrons facilement les équations d'équilibre de l'essieu coudé, savoir :

Somme des forces horizontales :

$$X' - (\zeta'_{c_1} + \zeta'_{c_2}) - (A'_1 + A'_2) + (f'_{c_1} + f'_{c_2}) = 0;$$

Somme des forces verticales :

$$Y' + \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} + \frac{P'}{2} - (Q'_{c_1} + Q'_{c_2}) = 0;$$

Somme des couples méridiens :

$$(X' \cos \omega + Y' \sin \omega) r - (A'_1 \cos \alpha_1 + A'_2 \cos \alpha_2) r'' - (f'_{c_1} + f'_{c_2}) R = 0;$$

Somme des couples transversaux :

$$\frac{(\eta_1 - \eta_2)}{2} c' - (Q'_{c_1} - Q'_{c_2}) c = 0;$$

Somme des couples horizontaux :

$$(\zeta'_{c_1} - \zeta'_{c_2}) e + (A'_1 - A'_2) i - (f'_{c_1} - f'_{c_2}) c = 0.$$

Avant de transformer et d'utiliser ces relations, cherchons les conditions d'équilibre de l'essieu droit du truck auquel sont appliquées les forces suivantes :

1° A ses extrémités agissent deux forces horizontales A'_1 et A'_2 transmises par les bielles d'accouplement; ces forces appliquées à l'extrémité des manivelles de l'essieu peuvent d'abord être reportées sur son axe, en leur ajoutant un couple méridien dont le moment sera égal à

$$(A'_1 \cos \alpha_1 + A'_2 \cos \alpha_2) r''.$$

Ensuite ces deux forces peuvent être ramenées au milieu de l'essieu, où elles donneront une résultante égale à

$$A'_1 + A'_2,$$

pourvu qu'on ajoute le couple horizontal

$$(A'_2 - A'_1)i.$$

2° A ses extrémités, l'essieu droit exerce contre ses plaques de garde des efforts horizontaux ζ'_{d_1} et ζ'_{d_2}; il est donc soumis à des forces $-\zeta'_{d_1}$ et $-\zeta'_{d_2}$ représentant les réactions des plaques de garde. Ces forces peuvent être ramenées sur le milieu de l'axe de l'essieu, où elles donneront une résultante égale à $-(\zeta'_{d_1} + \zeta'_{d_2})$ par l'addition d'un couple horizontal, dont le moment sera égal à

$$(\zeta'_{d_1} - \zeta'_{d_2})e.$$

3° La cheville ouvrière exerçant sur le centre du truck une pression P' et, cette pression se répartissant également sur les quatre mains de suspension, l'essieu sera chargé en son milieu de $\frac{P'}{2}$.

4° Les roues exerçant sur les rails des pressions verticales Q'_{d_1} et Q'_{d_2}, l'essieu sera soumis à des réactions verticales $-Q'_{d_1}$ et $-Q'_{d_2}$ appliquées à ses extrémités, et que l'on pourra ramener au milieu de l'axe, où elles donneront une résultante égale à

$$-(Q'_{d_1} + Q'_{d_2}),$$

en ajoutant un couple transversal dont le moment sera égal à

$$-(Q'_{d_1} - Q'_{d_2})c.$$

5° Sur les jantes des roues, les rails exercent des actions tangentielles f'_{d_1} et f'_{d_2} que l'on peut d'abord reporter sur l'axe de l'essieu, en ajoutant un couple méridien dont le moment sera égal à

$$-(f'_{d_1} + f'_{d_2})R.$$

Puis les deux forces horizontales f'_{d_1} et f'_{d_2} pourront être

ramenées au milieu de l'essieu, où elles donneront une résultante égale à

$$f'_{d_1} + f'_{d_2},$$

pourvu qu'on ajoute un couple horizontal dont le moment sera égal à

$$-(f'_{d_1} - f'_{d_2})c.$$

Les équations d'équilibre de l'essieu droit du truck seront alors les suivantes :

Somme des forces horizontales :

$$A'_1 + A'_2 - [\zeta'_{d_1} + \zeta'_{d_2}] + [f'_{d_1} + f'_{d_2}] = 0;$$

Somme des forces verticales :

$$\frac{P'}{2} - [Q'_{d_1} + Q'_{d_2}] = 0;$$

Somme des couples méridiens :

$$[A'_1 \cos \alpha_1 + A'_2 \cos \alpha_2] r'' - [f'_{d_1} + f'_{d_2}] R = 0;$$

Somme des couples transversaux :

$$-[Q'_{d_1} - Q'_{d_2}] c = 0;$$

d'où

$$Q'_{d_1} = Q'_{d_2};$$

Somme des couples horizontaux :

$$-(A'_1 - A'_2) i + (\zeta'_{d_1} - \zeta'_{d_2}) e - (f'_{d_1} - f'_{d_2}) c = 0.$$

Parmi les quantités qui figurent dans les dix équations au moyen desquelles nous avons exprimé l'équilibre des deux essieux du truck, plusieurs ne peuvent être déterminées; mais on peut déterminer celles que nous avons surtout intérêt à connaître et qui sont :

1° La charge des roues;

2° La sommes des moments des deux couples qui pro-

duisent la rotation de l'ensemble des deux essieux du truck; on ne saurait déterminer chacun de ces moments, par la raison que les efforts transmis par les bielles d'accouplement de l'essieu coudé à l'essieu droit dépendent essentiellement de l'état et de la précision de l'assemblage de ces bielles avec les manivelles qu'elles relient.

3° Les actions transmises par les essieux au truck par le moyen de leurs plaques de garde, ce qui permettra de connaître les forces auxquelles le châssis rigide de ce truck est soumis, et d'établir son degré de stabilité; là encore il sera impossible de déterminer séparément les efforts exercés sur les quatre groupes de plaques de garde, parce que la répartition de ces efforts dépend de la précision de l'ajustage; mais cette détermination n'est pas nécessaire, comme on va le voir.

Nous avons trouvé antérieurement les deux relations

$$Q'_{c_1} + Q'_{c_2} = \frac{P'}{2} + \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} + Y',$$

$$Q'_{c_1} - Q'_{c_2} = \frac{c'}{2c}(\eta_1 - \eta_2).$$

Remplaçons, en vertu des relations précédemment établies, $\frac{\eta_1 + \eta_2}{2}$ par $\frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{taug} \beta_2 - Y}{2}$ et Y' par $\frac{1}{2}\left(Y + \frac{Xh}{l}\right)$, ce qui donne

$$\frac{\eta_1 + \eta_2}{2} + Y' = \frac{Xh}{2l} + \frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2}{2},$$

et remplaçons aussi $(\eta_1 - \eta_2) c'$ par $(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 - F_2 \operatorname{tang} \beta_2) a$, nous aurons

$$Q'_{c_1} + Q'_{c_2} = \frac{P'}{2} + \frac{Xh}{2l} + \frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2}{2},$$

$$Q'_{c_1} - Q'_{c_2} = \frac{a}{2c}(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 - F_2 \operatorname{tang} \beta_2).$$

D'autre part, nous avons trouvé entre les pressions exercées sur les rails par les roues de l'essieu droit les deux relations ;

$$Q'_{d_1} + Q'_{d_2} = \frac{P'}{2}$$

et

$$Q'_{d_1} - Q'_{d_2} = 0,$$

d'où l'on conclut

$$Q'_{d_1} = Q'_{d_2} = \frac{P'}{4}.$$

Pour le truck d'arrière, si nous désignons les quantités que nous venons de considérer par les mêmes lettres, en doublant l'accent, nous aurons :

$$Q''_{c_1} + Q''_{c_2} = \frac{P''}{2} + \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} + Y'',$$

$$Q''_{c_1} - Q''_{c_2} = \frac{c'}{2c}(\eta_1 - \eta_2).$$

Remplaçons $\frac{\eta_1 + \eta_2}{2}$ par $\frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2 - Y}{2}$ et Y'' par sa valeur précédemment trouvée $\frac{1}{2}\left[Y - \frac{Xh}{l}\right]$, nous aurons

$$\frac{\eta_1 + \eta_2}{2} + Y'' = \frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2}{2} - \frac{Xh}{2l},$$

et enfin remplaçons

$$(\eta_1 - \eta_2)c' \quad \text{par} \quad (F_1 \operatorname{tang} \beta_1 - F_2 \operatorname{tang} \beta_2)a,$$

nous aurons

$$Q''_{c_1} + Q''_{c_2} = \frac{P''}{2} - \frac{Xh}{2l} + \frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2}{2},$$

$$Q''_{c_1} - Q''_{c_2} = \frac{a}{2c}(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 - F_2 \operatorname{tang} \beta_2).$$

Enfin, pour les pressions Q''_{d_1} et Q''_{d_2} exercées sur les rails par les roues de l'essieu droit du truck d'arrière, on aurait, comme pour le truck d'avant,

$$Q''_{d_1} = Q''_{d_2} = \frac{P''}{4}.$$

Nous avons établi précédemment, pour les deux essieux du truck d'avant, les relations

$$(X'\cos\omega + Y'\sin\omega)r - (A'_1\cos\alpha_1 + A'_2\cos\alpha_2)r'' - (f'_{c_1} + f'_{c_2})R = 0,$$
$$(A'_1\cos\alpha_1 + A'_2\cos\alpha_2)r'' - (f'_{d_1} + f'_{d_2})R = 0,$$

d'où l'on tire, en ajoutant,

$$(X'\cos\omega + Y'\sin\omega)r = (f'_{c_1} + f'_{c_2} + f'_{d_1} + f'_{d_2})R,$$

ce qui montre que le couple de rotation $(X'\cos\omega + Y'\sin\omega)r$, résultant de l'action de la bielle centrale sur le coude de l'essieu coudé, fait équilibre par l'intermédiaire des bielles d'accouplement, ainsi qu'on devait s'y attendre, à la somme des couples résultant des réactions tangentielles des rails sur les jantes des quatre roues de ce truck.

Pareil résultat existe évidemment pour le truck d'arrière, et nous pouvons écrire

$$(X''\cos\omega + Y''\sin\omega)r = \varphi''r = (f''_{c_1} + f''_{c_2} + f''_{d_1} + f''_{d_2})R.$$

En désignant par f la réaction tangentielle totale des rails sur les huit roues, c'est-à-dire la somme $f'_{c_1} + f'_{c_2} + f'_{d_1} + f'_{d_2} + f''_{c_1} + f''_{c_2} + f''_{d_1} + f''_{d_2}$, et en remarquant que $\varphi'r + \varphi''r = \varphi r$ ou $(X\cos\omega + Y\sin\omega)r$, on conclut

$$(X\cos\omega + Y\sin\omega)r = \varphi r = fR,$$

d'où

$$f = \frac{\varphi r}{R}.$$

Examinons maintenant l'action des forces qui agissent

sur le châssis du truck et qui, sauf la réaction latérale des rails, sont les forces horizontales ζ'_{c_1}, ζ'_{c_2}, ζ'_{d_1}, ζ'_{d_2} et la réaction de la cheville ouvrière.

Or, nous avons obtenu les relations

$$X' - (\zeta'_{c_1} + \zeta'_{c_2}) - (A'_1 + A'_2) + (f'_{c_1} + f'_{c_2}) = 0,$$
$$(\zeta'_{c_1} - \zeta'_{c_2})e + (A'_1 - A'_2)i - (f'_{c_1} - f'_{c_2})c = 0,$$
$$A'_1 + A'_2 - (\zeta'_{d_1} + \zeta'_{d_2}) + (f'_{d_1} + f'_{d_2}) = 0,$$
$$-(A'_1 - A'_2)i + (\zeta'_{d_1} - \zeta'_{d_2})e - (f'_{d_1} - f'_{d_2})c = 0,$$

d'où l'on conclut, en ajoutant d'une part la 1re et la 3^e de ces relations, et d'autre part la 2e et la 4e,

$$X' - [\zeta'_{c_1} + \zeta'_{c_2} + \zeta'_{d_1} + \zeta'_{d_2}] + [f'_{c_1} + f'_{c_2} + f'_{d_1} + f'_{d_2}] = 0,$$
$$[\zeta'_{c_1} + \zeta'_{d_1} - \zeta'_{c_2} - \zeta'_{d_2}]e - [f'_{c_1} + f'_{d_1} - f'_{c_2} - f'_{d_2}]c = 0.$$

Les deux forces ζ'_{c_1} et ζ'_{d_1} sont dirigées suivant la même ligne, et leur somme, que nous désignerons par ζ'_1 représentera la somme des actions horizontales transmises au côté droit du truck par l'intermédiaire des plaques de garde; pour le côté gauche la somme $\zeta'_{c_2} + \zeta'_{d_2}$ des actions similaires sera désignée par ζ'_2.

De même les deux forces f'_{c_1} et f'_{d_1} sont dirigées suivant la même ligne, et leur somme, que nous désignerons par f'_1 représentera la somme des actions horizontales provenant des rails et transmises au côté droit du truck; pour le côté gauche du truck la somme $f'_{c_2} + f'_{d_2}$ des actions similaires sera désignée par f'_2.

Alors les deux équations précédentes deviendront

$$\zeta'_1 + \zeta'_2 = X' + f'_1 + f'_2,$$
$$(\zeta'_1 - \zeta'_2)e = (f'_1 - f'_2)c.$$

Les forces ζ'_1 et ζ'_2 sont, avec la réaction horizontale de la cheville ouvrière sur le truck, les seules forces appliquées à ce truck dans l'hypothèse où nous nous sommes placés,

en supposant que les rails n'exerçaient pas de réaction transversale; cette hypothèse sera vraie lorsque les réactions des rails sur les roues de droite et de gauche seront les mêmes; on aura alors $f'_1 = f'_2$, et par suite $\zeta'_1 = \zeta'_2$; mais il n'en sera pas toujours ainsi, et le cas contraire pourra se présenter, quand les rails d'un côté ne seront pas identiquement dans les mêmes conditions et dans le même état que ceux de l'autre; alors les forces horizontales ζ'_1 et ζ'_2 ne seront plus égales, et leur résultante ne rencontrant plus la cheville ouvrière, le truck ne pourra être en équilibre; alors en effet ζ'_1 et ζ'_2 équivaudront : 1° à une force horizontale $\zeta'_1 + \zeta'_2$ appliquée au truck dans le plan méridien et qui viendra pousser la cheville ouvrière du châssis général; 2° à un couple horizontal dont le moment sera égal à $(\zeta'_2 - \zeta'_1)e$ ou à $(f'_2 - f'_1)c$. Ce couple fera tourner le truck autour de la cheville ouvrière jusqu'à ce que les boudins de deux de ses roues diamétralement opposées, venant toucher les faces latérales des rails, y rencontrent des résistances qui équilibreront le couple en question.

Les différences entre les réactions des rails de chaque côté de la machine ne peuvent provenir que de causes irrégulières et accidentelles; elles ne présentent aucun caractère périodique, et si elles provoquent quelquefois une réaction transversale à la voie de la part des rails, elles ne sauraient, par suite de leur défaut de périodicité, faire naître un mouvement de lacet proprement dit dans les trucks.

Pour traiter complétement le problème dans l'hypothèse d'une réaction latérale des rails sur les boudins des roues, il faudrait compléter et modifier en certains points les formules que nous avons établies jusqu'ici; cela n'offrirait aucune difficulté, mais n'aurait, d'autre part, aucun intérêt sérieux.

Dans tous les cas, si nous désignons par ζ' l'intensité de l'action propulsive transmise par le truck d'avant à la

cheville ouvrière correspondante et par suite au châssis général, nous aurons

$$\zeta' = \zeta'_1 + \zeta'_2 = X' + f'_1 + f'_2.$$

Nous aurons de même pour l'action propulsive horizontale ζ'' transmise par le truck d'arrière à la cheville ouvrière correspondante

$$\zeta'' = \zeta''_1 + \zeta''_2 = X'' + f''_1 + f''_2.$$

Les deux forces ζ' et ζ'' sont d'ailleurs appliquées l'une et l'autre au châssis général au niveau des essieux des trucks; elles sont dirigées l'une et l'autre suivant la même droite, et elles se composent en une action propulsive horizontale dont la valeur ζ sera

$$\zeta = \zeta' + \zeta'' = X' + X'' + f'_1 + f'_2 + f''_1 + f''_2.$$

Or, nous avons vu que $X' + X'' = X$, et si de plus nous désignons, comme précédemment, par f la somme des réactions tangentielles et horizontales des rails sur les huit roues, nous aurons

$$\zeta = X + f.$$

4° *Équilibre du châssis général.* — Le châssis général ne se trouve plus dans les mêmes conditions que les parties du mécanisme dont nous venons de nous occuper. Ces parties, en effet, ne sont que très-accidentellement, comme nous l'avons vu, exposées à des mouvements parasites, quand la machine circule en alignement droit; l'inertie de leurs masses, relativement petites, ne pouvait d'ailleurs avoir dans ces mouvements qu'un effet insignifiant, ce qui a permis de n'en pas tenir compte dans les équations de l'équilibre dynamique.

Le châssis général, avec lequel nous confondons tout ce qui lui est rigidement fixé, et en particulier la chaudière, a

une masse dont on ne peut plus négliger aussi légitimement en pratique les effets, attendu qu'elle constitue la très-grande partie de la masse entière de la machine. De plus, ce châssis, supporté par des ressorts et par l'intermédiaire des deux seules chevilles ouvrières, possède une certaine liberté de position et se trouve très-exposé aux mouvements parasites. Il peut être facilement affecté en particulier par des mouvements de roulis, et aussi par des mouvements de galop et d'élévation qui n'exigent pour se manifester que des variations dans les flèches et par suite dans les charges des ressorts de suspension.

Pour étudier les mouvements parasites du châssis général ainsi que les causes qui les produisent, nous allons, par imitation de la méthode suivie en astronomie pour l'étude des perturbations, en faire d'abord abstraction. c'est-à-dire supposer que le châssis général se trouve pendant le mouvement de la machine dans la position normale et régulière qu'il occupe, quand cette machine est au repos, par rapport à ses autres organes, c'est à-dire par rapport aux trucks et à leurs essieux; nous examinerons à quoi se réduisent dans cette position les forces appliquées au châssis général et si ces forces ne se font pas rigoureusement en équilibre sur ce châssis; nous connaîtrons par cela même les causes perturbatrices qui tendront à lui imprimer des mouvements parasites.

Puisque nous admettons, ainsi d'ailleurs que cela a lieu à très-peu près dans la machine Rarchaert, que le centre de gravité de la masse du châssis général (masse dans laquelle nous supposerons compris à l'avenir tout ce que porte ce châssis) est dans le plan méridien et à égale distance des deux chevilles ouvrières, il est bien clair, qu'au repos, ces deux chevilles ouvrières doivent supporter chacune la moitié du poids π du châssis général; autrement dit, l'équilibre s'établira entre ce poids et les réactions $-\frac{\pi}{2}$

de chacune des deux chevilles ouvrières, réactions qui déterminent nettement les flèches des ressorts de suspension. Nous supposons pour un moment que ces flèches se conservent pendant le mouvement; nous allons indiquer les autres forces qui sollicitent le châssis général et rechercher à quoi elles se réduisent.

La *fig.* 32 facilitera cette recherche; elle représente le diagramme du châssis général en projection sur le plan méridien.

CD représente l'horizontale qui passe par les essieux des trucks et par les extrémités inférieures des chevilles ouvrières.

C'D' représente les longerons du châssis principal et passe par l'axe E du faux essieu, situé à une hauteur ME ou *h* au-dessus des essieux des trucks.

C''D'' enfin représente la ligne des tampons ou l'horizontale de l'attelage, qui est située à une hauteur MI ou H au-dessus des essieux des trucks et par suite à une hauteur IE ou H — *h* au-dessus du faux essieu.

Comme précédemment, 2D représentera la distance *B'B''* des deux chevilles ouvrières I'B' et I''B''.

Enfin A désignera toujours l'effort horizontal exercé par la machine sur le train qu'elle remorque.

Le châssis général sera soumis à l'action des forces suivantes, que nous ramènerons dans le plan méridien par l'addition de couples convenables, en choisissant pour leur point d'application le milieu M d'un axe transversal idéal, supposé rigidement lié au châssis et placé au niveau des essieux des trucks, à égale distance des deux chevilles ouvrières.

1° Une force propulsive ζ est appliquée au châssis général dans le plan méridien suivant la ligne CD et par conséquent à l'origine choisie M.

2° Le faux essieu, comme nous l'avons vu, exerce sur ses plaques de garde, au niveau de la droite C'D' des efforts

horizontaux respectivement égaux à ξ_1 et ξ_2, lesquels fourniront une résultante $\xi_1 + \xi_2$ appliquée en E dans le plan méridien, pourvu que l'on ajoute un couple horizontal égal à $-(\xi_1 - \xi_2) d'$, $2d'$ désignant toujours la distance des plaques de garde du faux essieu situées des deux côtés opposés de la machine.

Nous avons précédemment désigné par F_1 et F_2 les pressions effectives de la vapeur sur les pistons; F_1 et F_2 représentent, abstraction faite des frottements, les différences entre les pressions motrices et les contre-pressions dans chacun des cylindres; par suite $-F_1$ et $-F_2$ représenteront les différences entre les pressions exercées sur les deux fonds de chaque cylindre, et ces forces horizontales seront appliquées de chaque côté au châssis général, à la distance a du plan méridien et parallèlement à C'D'.

Elles se composeront en une résultante unique égale à $-(F_1 + F_2)$ et appliquée en E par l'addition d'un second couple horizontal égal à $(F_1 - F_2) a$.

Ainsi au point E sera appliquée dans le plan méridien une force $\xi_1 + \xi_2 - F_1 - F_2$, laquelle, d'après une relation précédemment établie, est égale à $-X$.

Cette force $-X$ peut être ramenée avec sa direction au point M, qui nous sert d'origine, par l'addition d'un couple méridien égal à $-Xh$; enfin nous aurions à compter deux couples horizontaux dont la somme est égale à $-(\xi_1 - \xi_2) d' + (F_1 - F_2) a$; mais cette somme est nulle d'après une relation précédemment établie.

3° Le châssis général sera soumis, suivant la ligne C''D'' située au niveau de l'attelage, à une force horizontale $-A$, qui représente la résistance du train et que nous supposerons comprendre les résistances extérieures qui s'opposent au mouvement de progression de la machine elle-même; nous supposerons, en outre, que la force $-A$ agit dans le plan méridien, ce qui revient à dire que nous ne tiendrons

pas compte des effets qui peuvent résulter de l'obliquité de l'attelage dans la circulation en courbe.

La force horizontale $-A$ peut être regardée comme transportée à l'origine choisie M par l'addition d'un couple méridien égal à $-AH$.

4° Enfin nous avons vu que, par suite de l'obliquité des bielles motrices, les petites têtes de ces bielles exerçaient sur les glissières et par suite sur le châssis général des actions verticales respectivement égales à $-F_1 \tang \beta_1$ et $-F_2 \tang \beta_2$. Les points d'application de ces deux forces sont situés en avant du faux essieu, et par suite du point M, à des distances u_1 et u_2 qui ont respectivement pour valeur

$$u_1 = r' \sin \alpha_1 + \sqrt{b^2 - r'^2 \cos^2 \alpha_1},$$
$$u_2 = r' \sin \alpha_2 + \sqrt{b^2 - r'^2 \cos^2 \alpha_2},$$

ou approximativement, ainsi qu'on l'a déjà trouvé :

$$u_1 = b + r' \sin \alpha_1,$$
$$u_2 = b + r' \sin \alpha_2.$$

Nous pouvons d'abord transporter de l'avant à l'arrière les forces verticales $-F_1 \tang \beta_1$ et $-F_2 \tang \beta_2$ sur l'axe idéal qui se projette en M sur la *fig.* 32, par l'addition de deux couples méridiens dont la somme sera égale à

$$-(F_1 u_1 \tang \beta_1 + F_2 u_2 \tang \beta_2);$$

puis, nous pourrons ramener ces deux forces au milieu M de notre axe idéal, où elles donneront une résultante verticale égale à

$$-(F_1 \tang \beta_1 + F_2 \tang \beta_2),$$

en ajoutant encore deux couples transversaux dont la somme sera égale à

$$-(F_1 \tang \beta_1 - F_2 \tang \beta_2)a.$$

On peut remarquer en passant que ce couple résultant est égal en valeur absolue et de signe contraire à la somme de ceux qui rendent inégales les charges des roues d'un même essieu coudé des trucks.

Faisons maintenant la somme des forces de même direction appliquées en M au châssis général, ainsi que la somme des couples de même orientation appliqués à ce châssis, nous obtiendrons ainsi sans peine les expressions suivantes :

Somme X'_0 des forces horizontales ou de *recul* :

$$X'_0 = \zeta - X - \text{A};$$

Somme Y'_0 des forces verticales ou d'*élévation :*

$$Y'_0 = -(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2);$$

Somme G'_x des couples transversaux ou de *roulis :*

$$G'_x = -(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 - F_2 \operatorname{tang} \beta_2) a;$$

Somme G'_z des couples méridiens ou de *galop :*

$$G'_z = -[Xh + \text{A}H + F_1 u_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 u_2 \operatorname{tang} \beta_2];$$

ou, en se rappelant que $F_1 u_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 u_2 \operatorname{tang} \beta_2$ est égal à $(X \cos \omega + Y \sin \omega) r$ ou φr,

$$G'_z = -[Xh + \text{A}H + \varphi r].$$

Il n'y a pas, comme nous l'avons déjà fait observer, de couple horizontal pouvant produire un mouvement de lacet.

Nous avons établi toute notre théorie dans l'hypothèse où le train aurait une vitesse de progression constante ; cette hypothèse peut être à très-peu près exacte dans la pratique, mais elle n'est pas rigoureuse, parce que le travail de la vapeur n'est pas constamment le même pendant tous les instants infiniment petits, dans lesquels on peut

supposer partagée la durée d'un tour des roues; autrement dit, le moment moteur φr varie dans certaines limites pendant cette durée; le train aura donc une accélération périodique $\frac{d^2x}{dt^2}$; mais si la vitesse de progression du train est régulière dans le sens ordinaire de ce mot, la somme algébrique de ces accélérations élémentaires pour un tour entier des roues sera nulle, et le train aura une vitesse moyenne dont les variations périodiques deviendront insensibles.

La résistance totale A du train se compose par suite à chaque instant, d'abord d'une résistance A_0 qu'on peut regarder comme constante et qui dépendra de la vitesse moyenne du train et de sa composition et, en outre, d'une résistance spéciale due aux variations périodiques de cette vitesse moyenne et qui sera égale à $M \frac{d^2x}{dt^2}$, M désignant la masse du train, non compris celle de la machine; on aura ainsi

$$A = A_0 + M \frac{d^2x}{dt^2}.$$

La force X'_0 communiquera d'autre part au centre de gravité de la machine, dont nons désignerons la masse par m, une accélération qui sera la même nécessairement que celle du train, c'est-à-dire égale à $\frac{d^2x}{dt^2}$.

d'où
$$X'_0 = m \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Rappelons-nous maintenant que $\zeta - X$ est égal à la réaction totale des rails f et aussi à $\frac{\varphi r}{R}$, et la relation

$$X'_0 = \zeta - X - A$$

pourra s'écrire

$$X'_0 = \frac{\varphi r}{R} - A,$$

c'est-à-dire

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\varphi r}{R} - A_0 - M\frac{d^2x}{dt^2},$$

ou bien

$$(M+m)\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\varphi r}{R} - A_0;$$

A_0 peut être regardé comme constant; mais $\frac{\varphi r}{R}$ varie très-sensiblement, d'où résultera une accélération périodique alternativement positive et négative, suivant que $\frac{\varphi r}{R}$ sera au-dessus ou au-dessous de sa valeur moyenne A_0; ces variations périodiques de la vitesse moyenne de progression seront d'autant moins grandes, toutes choses égales d'ailleurs, que $(M+m)$ sera plus considérable, et elles pourront devenir souvent insensibles.

Si, d'autre part, la masse du train M est relativement très-grande par rapport à la masse de la machine, on pourra négliger m devant M, ce qui revient à écrire, en se rappelant que $A_0' + M\frac{d^2x}{dt^2} = A$,

$$0 = \frac{\varphi r}{R} - A$$

au lieu de la formule exacte

$$X'_0 = \frac{\varphi r}{R} - A.$$

La force totale qui entraîne l'ensemble du train et de la machine est $A + X'_0$, et elle est due aux poussées exercées sur les plaques de garde des essieux et les fonds des cylindres, savoir : la poussée $-X$ appliquée aux plaques de

garde du faux essieu ou au fond des cylindres situés au même niveau, et la poussée ζ appliquée aux plaques de garde des essieux des trucks.

Or, nous savons que $X = \varphi \cos \omega + N \sin \omega$ et, par suite, si nous faisons successivement $\omega = 0$ et $\omega = 180°$, nous aurons $X = \varphi$ et $X = -\varphi$; prenons pour φ la valeur moyenne précédemment trouvée égale à 9.000 kil., ce qui nous suffira pour établir le résultat que nous voulons mettre en évidence; admettons aussi pour l'effort total $A + X'_0$, qui produit la progression du train sa valeur moyenne, que nous avons trouvée être de 4.000 kil.; alors la relation

$$\zeta - X = A + X'_0$$

deviendra, pour les deux valeurs 0 et 180° de ω,

$$\zeta = 4.000 \text{ kilog.} \pm 9.000 \text{ kilog.},$$

ce qui donne pour les deux cas

$$\zeta = 13.000 \text{ kilog.}$$

et

$$\zeta = -5.000 \text{ kilog.}$$

Dans les machines ordinaires, les actions propulsives sur les plaques de garde des essieux varient ainsi périodiquement de grandeur et même de signe, mais elles s'exercent au même niveau que les actions propulsives appliquées au fond des cylindres, de sorte que toutes ces actions se résolvent en une même résultante qui a une valeur peu variable. Dans la machine Rarchaert, les mêmes actions, par suite de leur répartition constamment variable entre deux groupes de forces appliquées les unes au niveau du faux essieu, les autres au niveau des essieux des trucks, se résolvent aussi en une résultante qui détermine la propulsion et qui est relativement peu variable, mais en outre en un couple méridien, dont la grandeur et le signe varient pério-

diquement et qui tend à faire galoper le châssis général; c'est ce que va nous montrer du reste très-clairement l'étude de ce couple méridien que nous avons désigné par G'_z et pour la valeur duquel nous avons trouvé

$$G'_z = -[Xh + AH + \varphi r],$$

ou, en remplaçant φr par sa valeur $R(A + X'_0)$,

$$G'_z = -[Xh + A(R + H) + X'_0 R];$$

X'_0 étant égal à $m\frac{d^2x}{dt^2}$, le terme X'_0R peut être sans inconvénient négligé pour le but que nous poursuivons, car il n'a pas d'importance dès que le mouvement de progression du train est à peu près uniforme; nous pouvons donc nous borner à prendre

$$G'_z = -[Xh + A(R + H)]$$

$A(R + H)$ est une quantité qui ne varie que dans des limites restreintes; son influence se traduira par une augmentation de charge permanente et à peu près constante sur la cheville ouvrière d'arrière, et une diminution de charge équivalente sur la cheville ouvrière d'avant. La quantité Xh est au contraire essentiellement périodique et alternativement positive et négative, puisqu'elle prend les valeurs φh et $-\varphi h$ pour les valeurs o et 180° de l'angle ω: cette partie $-Xh$ du couple aura donc pour effet de surcharger et de décharger alternativement chacune des chevilles ouvrières dans un même tour des roues, ce qui produira un mouvement de galop dont l'amplitude dépendra d'ailleurs du degré de flexibilité des ressorts de suspension.

Mais il y a une autre cause qui fait encore varier la pression exercée sur les chevilles ouvrières ou plutôt sur leurs crapaudines. c'est la force verticale Y'_0, dont nous n'avons pas encore examiné le rôle, et dont l'effet sera de surcharger

également les deux chevilles ouvrières de quantités égales à $\frac{Y'_0}{2}$ en même temps qu'elle tendra à abaisser ou soulever, suivant son signe, le châssis général tout d'une pièce.

Supposons pour une instant que les ressorts de suspension soient inflexibles; alors le mouvement parasite de galop dû au couple G'_z et le mouvement parasite d'élévation (ou d'abaissement) dû à la force Y'_0 ne pourront plus se produire; par suite, le couple méridien G'_z et la force verticale Y'_0 devront se traduire par des surcharges p' et p'' respectivement appliquées sur les deux crapaudines d'avant et d'arrière et formant un système de forces équivalant à la force Y'_0 et au couple G'_z.

Les deux forces p' et p'' peuvent être remplacées par une résultante verticale $p' + p''$ appliquée dans le plan transversal également distant des deux chevilles ouvrières, c'est-à-dire à l'aplomb du milieu du faux essieu et par un couple méridien $(p' - p'')D$, $2D$ désignant toujours la distance des chevilles ouvrières; par suite, on devra avoir

$$p' + p'' = Y'_0$$

ou, d'après l'expression précédemment trouvée pour Y'_0,

$$p' + p'' = -(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2),$$

et

$$(p' - p'')D = G'_z = -[Xh + A(R + H)],$$

c'est-à-dire

$$p' - p'' = -\left[\frac{Xh}{D} + \frac{A(R + H)}{D}\right].$$

Ces relations nous permettront de calculer les surcharges p' et p'' des deux chevilles ouvrières dans l'hypothèse que nous avons admise où les mouvements parasites de galop et d'élévation seraient empêchées par l'inflexibilité des ressorts; mais il n'en sera pas ainsi, et ces mouvements devront

se produire, dans une mesure toujours restreinte, il est vrai.

Il n'est pas inutile peut-être d'indiquer comment on devrait aborder le problème qui nous occupe, si l'on voulait le traiter exactement. Les équations

$$p' + p'' = Y'_0,$$
$$(p' - p'')D = G'_r$$

ne sont qu'approchées ; pour les rendre entièrement exactes, il faudrait introduire dans l'une et l'autre un terme représentant l'influence des réactions d'inertie de la masse du châssis général dans ses mouvements parasites.

Si y représente, à un moment donné, l'abaissement du milieu du châssis au-dessous de sa position normale et θ l'angle de l'axe longitudinal de ce châssis sur l'horizontale du plan méridien, les termes à ajouter dans les équations precédentes contiendraient les accélérations linéaire et angulaire $\frac{d^2y}{dt^2}$ et $\frac{d^2\theta}{dt^2}$. D'autre part, on pourrait exprimer en fonction de y et de θ les variations des flèches des ressorts de suspension, et par suite les surcharges p' et p'', et l'on aurait deux équations différentielles simultanées du second ordre qui pourraient en principe déterminer y et θ, et donner par suite les vraies valeurs de p' et p''.

Admettons qu'on puisse obtenir les intégrales générales de ces équations, et l'on y arriverait facilement, au moins si l'on se contentait, comme je m'en suis assuré, de considérer l'équation qui peut faire connaître le mouvement de galop, c'est-à-dire θ, et en négligeant le mouvement d'élévation, beaucoup moins important, qui répond aux valeurs de y; mais on n'aurait encore rien fait d'utile, car il resterait à déterminer les constantes arbitraires des expressions trouvées pour θ et y.

Pour cela, il faudrait pouvoir se reporter à un certain état du mouvement où l'on connaîtrait θ, y, $\frac{d\theta}{dt}$ et $\frac{dy}{dt}$ et qui

serait pris comme état initial; or, comme les équations différentielles auraient été établies dans l'hypothèse du mouvement uniforme de la machine, cet état initial ne pourrait se rapporter qu'à un moment où serait déjà établi un pareil mouvement auquel la machine ne peut parvenir que progressivement; il faudrait donc remonter aux conditions dans lesquelles se trouvait la machine au démarrage, étudier ce qui se passe dans sa période de mise en marche et tenir compte de mille petits détails irréguliers, accidentels et impossibles à déterminer à l'avance. On ne ferait donc ainsi rien que d'illusoire, et nous nous abstiendrons d'aborder une tâche aussi ingrate qu'inutile. D'ailleurs les mouvements parasites étant toujours restreints, quant à leur amplitude, dans des limites très-étroites, les réactions d'inertie qui peuvent en naître ne sauraient avoir une grandeur notable, et l'on peut sans inconvénient et sans scrupule en faire abstraction. Il est bien suffisant pour les besoins de la pratique de connaître exactement la nature et l'intensité des causes qui tendent à produire les mouvements parasites, et de pouvoir calculer approximativement la grandeur des actions qui en résultent sur les parties essentielles du mécanisme.

Des formules précédentes qui donnent les valeurs de $p' + p''$ et de $p' - p''$, on tire :

$$p' = -\frac{F_1 \tang \beta_1 + F_2 \tang \beta_2}{2} - \left[\frac{Xh}{2D} + \frac{A'(R+H)}{2D}\right],$$

$$p'' = -\frac{F_1 \tang \beta_1 + F_2 \tang \beta_2}{2} + \left[\frac{Xh}{2D} + \frac{A'(R+H)}{2D}\right].$$

Il est impossible, en pratique, d'évaluer rigoureusement la quantité $F_1 \tang \beta_1 + F_2 \tang \beta_2$; car il faudrait pour cela connaître exactement pour chaque position du faux essieu les forces F_1 et F_2, c'est-à-dire la pression et la contre-pression réelles de la vapeur dans les cylindres. Il faut donc

nous contenter d'une valeur approchée; or, on peut écrire :

$$F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2 = \frac{F_1 u_1 \operatorname{tang} \beta_1}{u_1} + \frac{F_2 u_2 \operatorname{tang} \beta_2}{u_2}.$$

Les quantités u_1 et u_2 qui représentent les distances des petites têtes des bielles motrices à l'axe du faux essieu, ne sont pas constantes, mais elles varient peu, puisqu'elles sont toujours comprises entre $b - r'$ et $b + r'$, b étant la longueur des bielles et r' la longueur des manivelles; nous nous contenterons de prendre pour u_1 et u_2 leur valeur moyenne b et alors nous aurons

$$F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2 = \frac{F_1 u_1 \operatorname{tang} \beta + F_2 u_2 \operatorname{tang} \beta_2}{b};$$

or, nous avons vu que la quantité $F_1 u_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 u_2 \operatorname{tang} \beta_2$ n'est autre que le couple moteur φr, qui est très-sensiblement égal à AR, dans l'hypothèse où le mouvement de progression du train peut être regardé comme uniforme; en conséquence, nous aurons la relation approchée

$$F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2 = \frac{AR}{b},$$

d'où nous conclurons pour la valeur de la force d'élévation Y'_0

$$Y'_0 = -\frac{AR}{b},$$

et pour les surcharges des deux chevilles ouvrières,

$$p' = -\frac{AR}{2b} - \frac{A(R + H)}{2D} - \frac{Xh}{2D},$$

$$p'' = -\frac{AR}{2b} + \frac{A(R + H)}{2D} + \frac{Xh}{2D}.$$

Les expressions de p' et p'' contiennent deux parties : 1° celle qui est représentée par les termes qui renferment A en fac-

teur et qui est relativement peu variable, parce que A ne varie lui-même que dans des limites restreintes pendant un tour de roues; 2° une partie essentiellement périodique, alternativement positive et négative et représentée par le terme $\frac{Xh}{2D}$.

Si nous nous bornons à tenir compte seulement de cette deuxième partie, comme X varie, entre $\omega = 0$ et $\omega = 180°$, de $\varphi \dot{a} - \varphi$, c'est-à-dire, en chiffres ronds, de 9.000 kil. à $-$9.000 kil., il en résulte que dans un demi-tour des roues, les charges des chevilles ouvrières varieront de $2 \frac{9.000^k \times h}{2D}$ ou, en remplaçant h et 2D par leurs valeurs $0^m,25$ et $2^m,800$, de 1.600 kil. environ; d'où il résultera, pour chaque ressort de suspension, une variation de charge de 800 kil.

Les essieux droits des trucks subiront aussi cette même variation de charge de 800 kil. dans un demi-tour des roues; nous avons du reste trouvé précédemment pour les charges Q'_{d_1}, Q'_{d_2}, Q''_{d_1} et Q''_{d_2} les relations

$$Q'_{d_1} = Q'_{d_2} = \frac{P'}{4},$$

$$Q''_{d_1} = Q''_{d_2} = \frac{P''}{4},$$

ce qui montre que les deux roues des essieux droits sont toujours également chargées; les charges totales de ces essieux seront donc respectivement :

$$Q'_{d_1} + Q'_{d_2} = \frac{P'}{2},$$

$$Q''_{d_1} + Q''_{d_2} = \frac{P''}{2}.$$

Or, P′ et P″ représentent les charges totales des deux chevilles ouvrières, et ces charges se composent d'abord de la charge normale qui est égale à $\frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire à la moitié

du poids du châssis général et en outre de la surcharge p' ou p'', suivant qu'il s'agit de la cheville d'avant ou d'arrière ; nous aurons donc :

$$P' = \frac{\pi}{2} + p' = \frac{\pi}{2} - \frac{AR}{2b} - \frac{A(R+H)}{2D} - \frac{Xh}{2D},$$
$$P'' = \frac{\pi}{2} + p'' = \frac{\pi}{2} - \frac{AR}{2b} + \frac{A(R+H)}{2D} + \frac{Xh}{2D}.$$

ce qui donnera, pour la charge des essieux droits,

$$Q'_{d_1} + Q'_{d_2} = \frac{\pi}{4} - \frac{AR}{4b} - \frac{A(R+H)}{4D} - \frac{Xh}{4D},$$
$$Q''_{d_1} + Q''_{d_2} = \frac{\pi}{4} - \frac{AR}{4b} + \frac{A(R+H)}{4D} + \frac{Xh}{4D}.$$

Les charges des essieux coudés varient dans des proportions beaucoup plus grandes que celles des essieux droits, et, en outre, les charges des deux roues d'un même essieu sont généralement différentes.

Les charges des essieux coudés sont données par les relations précédement établies :

$$Q'_{c_1} + Q'_{c_2} = \frac{P'}{2} + \frac{Xh}{2l} + \frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2}{2},$$
$$Q''_{c_1} + Q''_{c_2} = \frac{P''}{2} - \frac{Xh}{2l} + \frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2}{2},$$

ou, en prenant pour $\frac{F_1 \operatorname{tang} \beta_1 + F_2 \operatorname{tang} \beta_2}{2}$ sa valeur approchée $\frac{AR}{2b}$ et remplaçant P' et P'' par leurs valeurs

$$Q'_{c_1} + Q'_{c_2} = \frac{\pi}{4} + \frac{AR}{4b} - \frac{A(R+H)}{4D} + \frac{Xh}{2l} - \frac{Xh}{4D},$$
$$Q''_{c_1} + Q''_{c_2} = \frac{\pi}{4} + \frac{AR}{4b} + \frac{A(R+H)}{4D} - \frac{Xh}{2l} + \frac{Xh}{4D}.$$

Les termes périodiques de ces expressions sont $\frac{Xh}{2l}$ et $\frac{Xh}{4D}$;

X variant de φ à $-\varphi$ ou de $+$ 9.000 kil. à $-$ 9.000 kil., en remplaçant h par 0.25 et $2l$ par $1^m,60$, $\frac{\varphi h}{2l}$ aura pour valeur 1.400 kil.; d'autre part, $\frac{\varphi h}{4D}$ est égal à $\frac{9.000^k \times 0.25}{2 \times 2,80}$ ou 400 kil. environ, d'où l'on conclut

$$\frac{\varphi h}{2l} - \frac{\varphi h}{4D} = 1.000 \text{ kilog.}$$

Il en résulte que le terme périodique $\frac{Xh}{2l} - \frac{Xh}{4D}$ des valeurs des charges $Q'_{c_1} + Q'_{c_2}$ et de $Q''_{c_1} + Q''_{c_2}$ des deux essieux coudés, varie de 2.000 kil. environ dans un tour de roues.

Il importe de remarquer que ces variations de charge deviendraient nulles si h était nul lui-même, c'est-à-dire si la bielle centrale de transmission était droite, le faux essieu étant alors placé au même niveau que les essieux des trucks.

Nous n'avons considéré jusqu'ici que la charge totale de chaque essieu; cette charge se répartit également sur les deux roues pour les essieux droits, ainsi que nous l'avons rappelé tout à l'heure; mais il n'en est pas de même pour les essieux coudés; nous avons trouvé en effet :

$$Q'_{c_1} - Q'_{c_2} = Q''_{c_1} - Q''_{c_2} = \frac{a}{2c}(F_1 \operatorname{tang} \beta_1 - F_2 \operatorname{tang} \beta_2).$$

Nous avons vu que les quantités $F_1 \operatorname{tang} \beta_1$ et $F_2 \operatorname{tang} \beta_2$ ont constamment le même signe et qu'elles sont toujours positives dans la marche en avant; $\operatorname{tang} \beta_1$ et $\operatorname{tang} \beta_2$ ont d'ailleurs pour valeur absolue maxima $\frac{r'}{\sqrt{b^2 - r'^2}}$, ou approximativement $\frac{r'}{b}$; et quand l'une de ces quantités est nulle, l'autre est à son maximum de valeur absolue; on aura donc, pour la limite des valeurs de $Q'_{c_1} - Q'_{c_2}$ ou de

$Q''_{c_1} - Q''_{c_2}$, $\frac{Far'}{2cb}$, en prenant pour F la plus grande valeur que puissent acquérir les forces F_1 et F_2. Or, la chaudière étant timbrée pour la pression effective de 9 kil., les pistons ayant $0^m,40$ de diamètre et par suite 1.257 centimètres de surface, F sera égal $1.257 \times 9 = 11.313$ kil.

D'autre part, comme on a $r' = 0^m,25$, $b = 2^m$, $a = 1$ et $2c = 1^m,50$, il viendra $\frac{Far'}{2cb} = \frac{11.313^k \times 0,25}{2 \times 1^m,50} = \frac{11.313}{12}$, ou environ $\frac{Far'}{2cb} = 1.000$ kil.

Telle serait la différence des charges des roues d'un même essieu coudé, l'une de ces charges surpassant la demi-charge de l'essieu de 500 kil. et l'autre lui étant inférieure de la même quantité.

Un pareil écart ne pourrait se produire que dans un démarrage qui se ferait lorsque l'une des manivelles est au point mort; en marche courante, il sera toujours très-notablement inférieur, attendu que la pression effective de la vapeur sera toujours très-notablement inférieure à 9 kil.

Il faut remarquer du reste que cette inégalité de charge des deux roues d'un même essieu est inévitable, puisqu'elle provient du travail de la vapeur et de l'obliquité des bielles motrices; on la retrouve dans les machines ordinaires avec une grandeur double; car dans ces machines, elle n'affecte qu'un seul essieu, l'essieu moteur, tandis que dans la machine Rarchaert elle se répartit sur les deux essieux coudés des trucks.

La variation de charge de chacun de ces essieux, variation qui atteint 2.000 kil., est plus grave et tend à opérer un martelage systématique en certains points déterminés des bandages; il y aurait assurément un grand intérêt à faire disparaître cet inconvénient qui ne tient qu'à la forme triangulaire de la bielle centrale de transmission.

Quant à la variation périodique de la charge des ressorts

de suspension, qui amène une variation de la flèche de ces ressorts et détermine le mouvement de galop, il faut se rappeler qu'elle ne dépasse pas 800 kil., c'est-à-dire, en chiffres ronds, le dixième de la charge normale des ressorts, laquelle est de 8.000 kil. environ ; de sorte que cette charge ne s'écartera au plus que de 400 kil. au-dessus et au-dessous de sa valeur moyenne, c'est-à-dire d'un vingtième en plus ou en moins, ce qui explique que le mouvement de galop de la machine soit très-peu sensible, ainsi que l'expérience l'a montré.

En fin de compte, si l'on totalisait les forces perturbatrices X_0, X'_0, Y_0, Y'_0, ainsi que les couples perturbateurs G_x, G'_x, G_y, G'_y, G_z, G'_z, dont nous avons donné les expressions, en ayant égard d'ailleurs à ce que nos forces horizontales de recul X_0 et X'_0 ne sont pas appliquées au même point (la première étant supposée appliquée à une hauteur h au-dessus du point d'application de la seconde), on aurait un tableau exact de toutes les actions perturbatrices qui peuvent altérer la stabilité de la machine et qui produisent les mouvements parasites. Les calculs seraient faciles, mais les résultats qu'ils donneraient ne nous seraient guère utiles par la raison que nous ne connaissons pas la valeur numérique des masses des pièces animées de mouvements relatifs ; nous nous dispenserons, pour cette raison et en vue d'abréger ce chapitre, de les effectuer.

Si l'on compare les résultats obtenus à ceux que l'on obtient pour les machines ordinaires, on en conclura que la machine Rarchaert, supposée munie du système de contrepoids auquel nous avons donné la préférence, n'est inférieure à ces dernières, tant pour la stabilité que pour la conservation des bandages, qu'à deux points de vue :

1° Les charges des ressorts de suspension, celles des essieux coudés surtout, subissent des variations importantes qu'il y aurait intérêt à faire disparaître, ce qui exigerait l'emploi d'une bielle centrale de transmission droite et non

triangulaire ; nous verrons plus loin quelles sont les raisons assez sérieuses qui peuvent s'opposer à une pareille hardiesse, et qui semblent arrêter aujourd'hui l'inventeur lui-même dans la réalisation de sa conception première.

2° La machine Rarchaert a une tendance au mouvement de roulis plus prononcée que les machines ordinaires, sans toutefois que cet inconvénient puisse inquiéter, comme l'expérience l'a montré. En effet, le roulis est essentiellement facilité par le mode de suspension du châssis général qui ne repose en principe que sur deux points ou plutôt deux surfaces étroites, les chevilles ouvrières ; le couple qui tend à produire ce roulis n'est par suite équilibré immédiatement par aucune résistance, et ce mouvement ne peut être arrêté que lorsque l'un des longerons du châssis général vient toucher les longerons des trucks et s'appuyer sur eux ; alors seulement apparaît d'une manière nette la résistance au roulis, laquelle se traduit par une variation dans la flèche des ressorts de suspension. Dans les machines ordinaires, la réaction de ces ressorts est immédiate et commence dès que le roulis se manifeste ; il suffirait, pour mettre la machine Rarchaert dans les mêmes conditions, de réduire à peu près à zéro le jeu que l'on y a conservé entre le dessous des longerons principaux et le dessus des longerons des trucks ; c'est du reste là le moyen indiqué par M. Rarchaert lui-même dans une note qui doit paraître en même temps que ce mémoire. La modification devra toutefois être faite avec mesure, sous peine de perdre les avantages qui résultent, pour la répartion des charges, des dispositions heureuses du système de suspension adopté.

En tout cas, les inconvénients ou infériorités par rapport aux machines ordinaires que nous venons de signaler dans la machine Rarchaert, telle qu'elle a été construite, avec une bielle centrale de transmission triangulaire, n'ont qu'une importance très-limitée, et il me paraît que l'on ne

pourrait que se féliciter d'acheter à si bas prix le moyen d'exploiter des lignes à courbes très-serrées et surtout de ménager, dans une mesure incontestablement importante, la conservation de la voie; nous montrerons plus loin, par des faits d'expérience, que la machine Rarchaert remplit bien cette condition.

Nous nous sommes surtout préoccupé, dans ce chapitre, d'établir les variations de charge des ressorts de suspension et des roues, et nous avons montré qu'avec une bielle triangulaire, ces variations, dans ce qu'elles ont de nettement périodique, dépendaient essentiellement de la quantité

$$X = \varphi \cos \omega + N \sin \omega.$$

Par suite de la surabondance des liaisons, N est indéterminé en principe; aussi n'avons-nous pu qu'établir des chiffres comparatifs pour les deux positions où $N \sin \omega$ est nul, c'est-à-dire pour lesquelles ω est égal à 0 ou 180°.

Mais puisqu'il est nécessaire, pour assurer le franchissement des irrégularités de la voie, de ménager un jeu important dans l'articulation du coude du faux essieu avec le sommet de la bielle centrale de transmission, la force radiale N pourra être regardée comme normalement nulle; la force tengentielle φ est au contraire supposée connue, puisqu'elle résulte immédiatement du travail de la vapeur; on pourra alors prendre simplement

$$X = \varphi \cos \omega,$$

et, en introduisant cette valeur de X dans les expressions précédentes, on pourra, pour chaque valeur de ω, calculer les valeurs des pressions exercées sur les ressorts de suspension par les chevilles ouvrières et sur les rails par les roues; nous nous dispenserons de présenter ce calcul, qui n'aurait pas d'intérêt, attendu que ce qui précède suffit

largement à mettre en évidence les effets des actions perturbatrices dont la machine Rarchaert n'est pas plus exempte que les machines ordinaires.

CHAPITRE V.

Comparaison de la machine Rarchaert avec d'autres machines employées sur les lignes secondaires. Résultats des essais.

Pendant les essais auxquels la machine Rarchaert a été soumise, nous avons dû nous préoccuper d'établir une comparaison entre cette machine et celles qui circulaient sur la même ligne.

La compagnie du chemin de fer de Vitré à Fougères possède deux espèces de locomotives, les unes toutes particulières à quatre roues et construites par M. Voruz (de Nantes), les autres à six roues provenant de l'usine de Fives-Lille et aujourd'hui très-répandues sur les lignes secondaires.

Ces deux types sont d'ailleurs à adhérence totale, par suite de l'accouplement de toutes les roues. Leurs essieux restent forcément parallèles, et j'ajoute, pour ne rien omettre, que les essieux des locomotives de Fives-Lille n'avaient, au moment des essais, aucun jeu latéral dans le sens de leur longueur; ce n'est que depuis que l'on s'est décidé à les munir de l'appareil Caillet.

Il ne sera pas sans utilité, je pense, d'indiquer quelques-uns des éléments principaux de ces machines.

		Machines à 4 roues, construites par M. Voruz.	Machines à 6 roues accouplées de Fives-Lille.
Timbre de la chaudière		8 kilog.	$8^k,500$
Diamètre des pistons		$0^m,300$	$0^m,380$
Course des pistons		$0^m,560$	$0^m,600$
Surface de chauffe	du foyer	$5^{m2},00$	$6^{m2},20$
	des tubes	$58^{m2},00$	$73^{m2},85$
	totale	$63^{m2},00$	$80^{m2},05$
Diamètre des roues		$1^m,260$	$1^m,300$
Distance des essieux extrêmes		$3^m,00$	$2^m,850$
Poids total de la machine garnie en eau et charbon		20.712 kilog.	32.283 kilog.
Charge sur l'essieu	d'avant	11.072 —	10.773 —
	du milieu	»	10.520 —
	d'arrière	9.640 —	10.990 —

Voici maintenant les données correspondantes pour la machine Rarchaert :

Timbre de la chaudière		9 kilog.
Diamètre des pistons		$0^m,400$
Course des pistons		$0^m,500$
Surface de chauffe	du foyer	$5^{m2},73$
	des tubes	$74^{m2},53$
	totale	$80^{m2},26$
Diamètre des roues		$1^m,100$
Distance des essieux d'un même truck		$1^m,200$
Distance des essieux voisins des deux trucks		$1^m,600$
Distance des chevilles ouvrières		$2^m,800$
Poids de la machine avec son approvisionnement d'eau et de charbon		31.000 kil.
Charge statique sur chacun des essieux du truck	d'avant	7.700 —
	d'arrière	7.800 —

La machine à quatre roues de M. Voruz supporte sur l'essieu d'avant 11 tonnes environ, ce qui est un poids considérable pour les rails à faible équarrissage des chemins de fer économiques; mais de plus son poids total n'atteignant que 21 tonnes, elle ne peut exercer qu'un effort de traction relativement faible et qui peut souvent devenir insuffisant pour les besoins de l'exploitation. Aussi quand la Compagnie de Vitré-Fougères a eu prolongé sa ligne jusqu'à la baie du Mont-Saint-Michel et qu'elle a pu

espérer des transports de tangue un peu importants, elle a senti le besoin d'avoir des locomotives plus puissantes; elle a renoncé aux machines à quatre roues qui pourtant avaient toujours fait un bon service et relativement peu fatigué la voie; elle a adopté alors les machines du type de Fives-Lille. En outre, comme je l'ai dit déjà, je persiste à penser que des locomotives à quatre roues, ayant leur foyer entre les deux essieux, n'offrent pas toutes les garanties de sécurité désirables, et que les conséquences d'une rupture d'essieu ou d'un déraillement avec ces machines seraient beaucoup plus graves qu'avec des machines à six roues.

Les machines de Fives-Lille ont un poids adhérent beaucoup plus grand que celui des machines Voruz et à peu près égal à celui de la machine Barchaert; mais, dans cette dernière, ce poids est réparti à peu près également sur quatre essieux au lieu de trois, ce qui est d'une assez sérieuse importance pour la conservation de la voie. L'effort de traction des machines de Fives-Lille, rapporté à la circonférence des roues et calculé par la formule ordinaire est de 3.682 kilogrammes, celui de la locomotive Barchaert étant de 4.254 kilogrammes; ces efforts seraient d'ailleurs à très-peu près égaux si les roues avaient le même diamètre. Enfin les surfaces de chauffe des deux types sont presque égales, mais la surface du foyer est un peu plus faible dans la machine Barchaert par suite de la position de ce foyer au-dessus de l'essieu d'arrière.

On voit que ces deux types ont plusieurs de leurs éléments communs; il était donc intéressant de les examiner comparativement dans leur service sur la même ligne.

Pour cela, il fallait d'abord suivre leurs allures, soit en montant sur les machines mêmes, soit mieux encore en les surveillant de la lanterne du fourgon de tête placé immédiatement derrière elles : on reconnaissait nettement alors que la machine de M. Barchaert obéissait sans résistance aux inflexions des courbes, tandis que les machines de

Fives-Lille résistaient en se roidissant, en subissant des trépidations pénibles et en montrant qu'elles ne passaient qu'au prix d'efforts considérables.

Plusieurs observations sont venues confirmer cette différence : on remarquait que les bandages des machines de Fives-Lille, après un parcours un peu notable, étaient en quelque sorte mis à vif surtout près des boudins; ces bandages s'usaient très-vite. Aussi la compagnie s'est-elle décidée, en présence de cette usure, à recourir à l'appareil Caillet qui évidemment atténuera beaucoup l'inconvénient que nous venons de signaler. Le tempérament qu'apportera l'installation de cet appareil ne suffirait pas, à mon avis, sur des voies comportant des courbes de 150 mètres de rayon ; sur la ligne de Vitré à Fougères, où le rayon des courbes ne descend pas au-dessous de 250 mètres, il aura un effet satisfaisant; toutefois ce ne sera encore qu'un tempérament.

La machine Rarchaert satisfait aux mêmes besoins par son principe même et d'une façon bien plus complète, ainsi qu'il a été facile de le reconnaître à l'examen des bandages de ses roues, après un parcours de plus de 4.000 kilomètres; la qualité du fer de ces bandages a rendu cette reconnaissance particulièrement concluante : ce fer était très-mou et on l'entamait très-facilement avec un simple poinçon tenu à la main; si donc les bandages avaient rencontré des résistances un peu notables dans la circulation, ils auraient été bien vite mis à vif et se seraient usés rapidement ; or on n'a rien constaté de pareil; on a reconnu seulement qu'une gorge circulaire, nettement visible, s'était creusée sur ces bandages dans la région où ils reposent normalement sur les rails, ce qui était une conséquence du peu de dureté du métal et démontrait en outre que les trucks s'inscrivaient très-facilement dans les courbes; l'infériorité du fer des bandages a mis ainsi en évidence la flexibilité même de la machine.

Il a été de plus amplement reconnu que l'emploi des machines de Fives-Lille, sans jeu des essieux dans le sens de leur longueur, avait fatigué considérablement la voie de Vitré à Fougères en l'élargissant dans beaucoup de points; aussi a-t-on été obligé de renouveler en partie cette voie, en en remplaçant les traverses, qui, du reste, lors de la construction, n'avaient pas été choisies d'une façon toujours satisfaisante. Assurément si les essieux des machines de Fives-Lille avaient eu tout d'abord un jeu longitudinal, cet effet aurait été notablement atténué; mais les constatations faites sur les bandages de la machine Rarchaert, et que nous venons de rappeler, indiquent que cette machine aurait encore bien mieux ménagé la voie.

Nous avions à nous préoccuper, après les essais, de l'usure qu'avaient pu subir certaines pièces spéciales qui, par leur nature et leurs fonctions, pouvaient être exposées à une détérioration exceptionnelle. Notre examen s'est porté sur tous les coussinets en bronze et tout particulièrement sur ceux que portent les coudes du faux essieux et des essieux des trucks.

Pour le premier de ces coussinets, l'usure était à peine sensible et les pattes d'araignée ou canaux de graissage paraissaient intactes. Pour les coussinets des essieux coudés des trucks, l'usure était plus sensible et les pattes d'araignée avaient été à peu près entièrement effacées d'un côté; en outre les faces latérales et verticales de ces coussinets avaient été sensiblement entamées par suite de la pression que ces coussinets exercent dans les courbes contre les surfaces qui limitent latéralement les portées des coudes, pression qui résulte, comme nous l'avons montré précédemment, de ce que les efforts exercés par la bielle de transmission sur les coudes des essieux des trucks ne sont plus perpendiculaires sur ces coudes, et ont une composante, faible il est vrai, parallèle aux essieux.

Mais cette usure n'a rien qui puisse étonner beaucoup

après le parcours fait par la machine, si l'on remarque que les coussinets sont complétement en bronze (je dois ajouter que le bronze de ces coussinets nous a paru de moins bonne qualité que celui du coussinet du coude du faux essieu); on la diminuerait notablement en revêtant les surfaces frottantes des coussinets d'un alliage formé d'antimoine et d'autres métaux, alliage couramment employé aujourd'hui sur le chemin de fer de l'Ouest. En tous cas, fallût-il changer quelques coussinets un peu plus fréquemment dans la machine de M. Rarchaert que dans les autres, ce ne serait qu'un inconvénient absolument insignifiant par rapport aux avantages que présente sa flexibilité ; et puis encore, on ne doit pas oublier que cette machine doit satisfaire, par la disposition même de ses organes, à des conditions beaucoup plus complexes que celles auxquelles satisfont, sur les grandes lignes, les locomotives rigides : la machine Rarchaert, par suite, doit être nécessairement moins simple que les machines ordinaires ; si l'on y rencontre quelques particularités qu'il vaudrait mieux sans doute n'y pas trouver, il n'y a rien qui puisse surprendre et empêcher de reconnaître ses incontestables mérites pour les lignes à tracé très-accidenté.

On pouvait craindre que les disques en caoutchouc supportant les chevilles ouvrières ne se fussent altérés ou n'eussent perdu de leur élasticité ; nous avons fait retirer un de ces disques ; il est revenu à son épaisseur primitive et n'a présenté aucune trace de détérioration.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, la machine de M. Rarchaert a été d'abord employée à la traction des trains de matériaux ; il résulte d'une note de M. Darnès, chef d'exploitation, qu'elle a, dans ce service, effectué un parcours total de 905 kilomètres et que la plus forte charge remorquée a été de 208 tonnes, à la vitesse moyenne de 37 kilomètres à l'heure, sur la section peu accidentée de Moidrey à Antrain ; mais cette machine a de plus remorqué

150 tonnes sur la section d'Antrain à Tremblay, qui présente une rampe de 15 millimètres sur plusieurs kilomètres.

J'ai pensé du reste que c'était surtout sur les résultats obtenus dans le service régulier que devaient être établies les appréciations.

Ce service, dont j'ai fait relever le détail jour par jour, a duré du 10 avril au 9 mai 1873 inclusivement. Le parcours total a été de 3.446 kilomètres; le tonnage kilométrique total remorqué de 191.006 tonnes kilométriques et, en outre, la consommation totale de houille, de 28.400 kilogrammes; d'où l'on conclut que la consommation par tonne kilométrique a été de 149 grammes; enfin, la plus forte charge remorquée a été de 115 tonnes, sur une partie du profil qui n'est pas, il est vrai, très-accidentée. Dans les sections où les rampes atteignent souvent 15 millimètres par mètre, la machine Barchaert a fréquemment remorqué des charges de 85 à 95 tonnes par tous les temps, sans retards, sans accidents et sans emploi de sable, puisque la machine n'a pas de sablière. On peut donc dire que la puissance de traction de cette machine n'a pas été nettement mise à l'essai sur le chemin de fer de Vitré à Fougères; mais il me semble que cette question est peu importante du moment où l'on a pu, par une formule très-suffisamment exacte en pratique, s'assurer que l'effort de traction produit par les cylindres et rapporté à la circonférence des roues est de 4.000 kilogrammes en chifffres ronds et que l'on est sûr d'ailleurs que l'adhérence est suffisante pour assurer l'effet de cet effort.

En ce qui concerne la consommation de charbon, rapportée à la tonne kilométrique remorquée, la machine Barchaert n'a pas donné des résultats très-satisfaisants; cette consommation a, en effet, été pour elle de 149 grammes, tandis qu'elle n'a été que de 106 grammes pour les machines de Fives-Lille et de 109 grammes pour les machines Voruz.

Nous avions donc à rechercher la cause de ce surcroît de

dépense de combustible pour le même effet utile produit. Pouvait-on d'abord la rencontrer, au moins en partie, dans le mécanisme particulier à la machine? Un examen attentif et suivi du jeu des organes et de leur usure nous a conduit à répondre tout à fait négativement à cette question. Il fallait donc chercher ailleurs; et, en effet, l'examen du générateur ainsi que du moteur nous a fourni une explication très-nette; voici donc l'indication succincte des défauts, étrangers au véhicule, c'est-à-dire au mécanisme de transmission et d'accouplement de M. Rarchaert, qui rendent amplement compte, selon moi, de l'élévation de la dépense de charbon :

1° La chaudière et le dôme de vapeur présentaient des fuites par lesquelles s'échappaient de notables quantités d'eau et de vapeur.

2° La distribution était très-mal réglée et l'on s'en apercevait en marche aux irrégularités très-marquées de l'échappement.

3° L'échappement était fixe et très-étranglé, et il devait résulter de là un surcroît de contre-pression notable. Le courant gazeux déterminé par cet échappement était assez énergique pour que des fragments assez nombreux de charbons fussent aspirés par les tubes et transportés dans la boîte à fumée, surtout au moment du chargement du feu; il est vrai que le peu de profondeur du foyer pouvait favoriser cet entraînement.

4° M. Rarchaert avait donné à ses tiroirs une avance linéaire excessive à l'admission, allant jusqu'à 8 millimètres; il y a été conduit, d'après ses déclarations, par le désir d'augmenter la rapidité du mouvement des pistons et par suite la vitesse de marche. J'avoue n'avoir pas bien pu saisir la portée de cet argument; mais j'admets avec M. Rarchaert qu'une avance aussi grande a pu accroître d'une manière appréciable la consommation de la vapeur et par suite celle du combustible.

Il est nécessaire d'expliquer pourquoi nous trouvons excessive une avance linéaire à l'admission de 8 millimètres.

Quand on fait usage pour la distribution de la vapeur d'une coulisse ordinaire de Stephenson à barres d'excentriques *ouvertes* ou *croisées*, l'avance linéaire à l'admission varie pour les différents crans de la coulisse, et cette variation va souvent de 2 ou 3 millimètres à 9 et 10 millimètres; une avance de 8 millimètres ne serait donc pas extraordinaire, si elle ne se présentait que pour certains crans de la coulisse; ce qui la rend excessive, c'est que dans la machine Rarchaert elle est constamment de 8 millimètres, par la raison que la coulisse employée est une coulisse renversée de Gooch, laquelle donne une avance invariable et la même pour tous les crans, quand la bielle, qui relie la coulisse à la tige du tiroir a une longueur égale au rayon de figure de cette coulisse; or, je me suis assuré qu'il en est bien ainsi, en examinant le dessin que M. Rarchaert m'a fourni de sa machine.

Cette machine, du reste, présentait deux autres particularités défectueuses : 1° le frein qu'elle portait n'avait que deux sabots qui agissaient sur les roues postérieures du truck d'arrière; son action devait donc se transmettre successivement aux trois autres essieux par l'intermédiaire des bielles d'accouplement et de la bielle centrale de transmission; cette transmission était fort compliquée, elle entraînait certainement une fatigue notable du mécanisme; enfin, comme nous l'expliquerons dans le chapitre suivant elle était soumise à l'inconvénient des *points morts*. 2° Le frein était porté par le châssis général par rapport auquel les trucks sont mobiles, et par suite dans l'inscription en courbe les deux sabots ne se trouvaient pas à la même distance des bandages sur lesquels ils étaient appelés à agir; il est vrai que, grâce à une disposition particulière consistant dans l'emploi de balanciers articulés, on parvenait toujours à faire agir les deux sabots sur les deux

roues; mais ils n'arrivaient pas au contact en même temps, ce qui était une cause d'irrégularité et constituait un défaut de symétrie.

M. Rarchaert n'avait pas hésité à reconnaître cet inconvénient, auquel il est bien facile de remédier dans sa machine; il suffirait, par exemple, de supprimer les freins à sabots et de faire usage du frein à contre-vapeur de MM. Lechâtelier et Ricour, dont l'emploi est aujourd'hui général; et si, d'ailleurs, on ne trouvait pas ce frein assez prompt et énergique, on pourrait se servir du frein à air raréfié, qui vient d'être essayé sur le chemin de fer du Nord et avec plein succès, à ce qu'il paraît.

Après avoir quitté le chemin de fer de Vitré à Fougères, la machine Rarchaert a été employée sur le chemin de fer d'Orléans à Châlons, où elle a fait un parcours de 3.899 kilomètres, du 8 juillet au 3 novembre 1873, sans occasionner ni accident ni détresse; elle a dû subir, il est vrai, une interruption de service du 14 août au 19 septembre. Tous ces renseignements sont extraits d'un certificat délivré par M. Lebleu, ingénieur des mines, attaché au contrôle du chemin de fer d'Orléans à Châlons, et quant à l'interruption de service qui vient d'être relatée, il résulte des renseignements que m'a fournis M. Rarchaert, qu'elle avait été occasionnée par l'écrasement d'un bandage, fait indépendant du mécanisme, et qui m'a d'autant moins surpris que j'avais reconnu moi-même, ainsi que je l'ai indiqué plus haut, que les bandages de la machine Rarchaert étaient en fer très-mou.

Je n'ai pas pu suivre plus longtemps cette machine; j'ignore pourquoi elle a cessé son service le 3 novembre 1873 sur le chemin d'Orléans à Châlons et pourquoi elle est rentrée alors à Saint-Denis dans les ateliers des constructeurs MM. Maze et Voisine. Un procès s'est engagé à cette occasion entre les constructeurs et l'inventeur, et j'ai cru devoir mettre fin à mes investigations.

CHAPITRE VI.

Objections diverses contre l'emploi d'une bielle de transmission unique et droite.

J'ai énuméré dans ce mémoire les avantages que présenterait une bielle de transmission droite sur une bielle triangulaire, avantages qui consisteraient surtout : 1° dans la possibilité, pour le même diamètre des roues, d'abaisser notablement la chaudière, pourvu que l'on trouvât un moyen acceptable de placer autrement le foyer ou d'en modifier la forme; 2° dans la suppression qu'on peut dire totale en principe des incompatibilités de liaisons qui se présentent dans le franchissement des irrégularités de la voie; 3° dans la suppression de la variation périodique de la charge des essieux et des ressorts de suspension.

J'ai voulu me tenir, autant que possible, dans mon rôle de rapporteur et je n'ai jamais eu l'intention de faire le projet d'une machine modifiée du système de M. Rarchaert; amené par les théories que j'ai exposées à reconnaître divers inconvénients de la forme triangulaire de la bielle de transmission, j'ai dû les constater et constater aussi que ces mêmes inconvénients n'existeraient plus si cette bielle était droite; mais à côté de ses avantages incontestables, une bielle de transmission droite et unique peut avoir des inconvénients, et j'ai cru de mon devoir de provoquer à cet égard les observations de l'inventeur qui me les a formulées dans plusieurs lettres.

Je présenterai, en général, les objections contre la bielle droite dans les termes mêmes employés par M. Rarchaert, en mettant ces termes entre guillemets, et je consignerai

mes observations à la suite de chacune de ces objections. Je n'aurai pas toujours à exprimer des avis absolus, parce que l'expérience ou au moins l'opinion des praticiens autorisés ne me paraît pas inutile pour trancher certaines questions délicates. Je le répète encore, je ne fais pas de projet ; j'expose et je ne propose pas.

On ne devra pas perdre de vue, dans ce qui va suivre, que les équations de l'équilibre dynamique des différentes pièces du mécanisme établies au paragraphe précédent sont aussi les équations qui représentent et règlent en réalité la transmission des efforts d'une pièce à l'autre, quand le mouvement de la locomotive est uniforme, de sorte que l'on reconnaîtra que cette transmission cesse d'être régulière et qu'il y a par suite des points morts, quand les équations ne seront pas compatibles, c'est-à-dire ne pourront plus théoriquement être toujours satisfaites par des valeurs finies des inconnues.

Après m'avoir annoncé que dans sa première conception la bielle de transmission était droite, M. Rarchaert *poursuit* ainsi :

« En même temps que je prenais un brevet, je faisais « construire un modèle pour la démonstration, et le modèle « était établi avec une bielle droite et deux supports nécessairement droits aussi. A cette époque, les ingénieurs « étaient encore sous la mauvaise impression produite par « l'échec de la machine Roy, et vous ne sauriez croire « combien j'éprouvais de difficultés, même auprès des « esprits les mieux disposés, pour faire comprendre la « différence qui existait entre le modèle que je présentais et la machine Roy. Tous ou presque tous ne voyaient « qu'une bielle horizontale unique présentant des points « morts, et le principe de l'essieu moteur qui consiste précisément à faire disparaître des points morts ou à les « vaincre était regardé avec une grande défiance.

« Chaque fois que, le modèle soulevé, je faisais tourner

« les roues en actionnant les pistons, tout marchait bien, « mais on me demandait alors de faire tourner par les « roues elle-mêmes. Dans ces conditions dernières de fonc- « tionnement les points morts se révélaient et, malgré mes « explications et mon insistance, je ne voyais bientôt plus « autour de moi que des incrédules. C'est à cette occasion « que m'ont été faites les objections que l'action d'un frein « agissant sur un truck ne se transmettrait pas à l'au- « tre truck, et que, sur une pente, les roues pourraient « ne pas suivre le même entraînement, si les diamètres « n'étaient pas rigoureusement égaux. . . . .

« Je suis porté à croire qu'elles (ces objections) n'ont « aucun fondement, qu'elles sont pour le moins exagérées, « la dernière surtout, car il est évident que des diamètres « inégaux viendraient se corriger, au point de vue de l'en- « traînement, à l'instant où les manivelles sont verticales, « c'est-à-dire à chaque demi-tour de roue.

« Si nous supposons (*fig.* 33, Pl. V) des roues de 1^{m},200 « avec des manivelles de 0^{m},300 et une paire de roues plus « grande ou plus petite de 0^{m},003, nous aurons comme « différence de développement à la surface de roulement « 9 millimètres (chiffre rond) pour un tour entier. Ces « 9 millimètres ne pouvant se produire que pendant un « demi-tour de roue, ils se trouvent réduits à la moitié, « soit 4 millim. 1/2 et pour un quart de tour de roues com- « pris entre la position verticale (des coudes des essieux) « et la position horizontale, à 2 millim. 1/4, et comme la « manivelle est moitié moins grande que le rayon de la « roue, ce n'est plus qu'une différence de 1 millim. 1/8 qui « vient détruire le parallélisme rigoureux des manivelles, « lorsqu'elles occupent la position horizontale. »

Pour bien comprendre ce qui précède, il faut remarquer que le parallélisme des manivelles, c'est-à-dire des coudes des essieux des trucks, serait absolu s'il n'y avait aucun jeu dans les articulations, ce qui n'est pas réalisable et ne de-

vrait même pas être réalisé, si c'était possible, puisqu'un certain jeu est nécessaire pour la circulation dans les courbes, ainsi que je l'ai montré précédemment.

Le jeu existant, il permettra aux deux manivelles de s'écarter d'autant plus du parallélisme que ces manivelles seront plus éloignées de leurs positions verticales et par suite plus rapprochées de leurs positions horizontales.

Soit, en effet (*fig.* 34, Pl. V), E'E''C''C' le parallélogramme que formeraient la bielle, les manivelles et la ligne E'E'' qui joint les essieux, s'il n'y avait aucun jeu ; le jeu total étant égal à *aa'*, la position de l'extrémité C' de la manivelle n'est plus rigoureusement déterminée sur la circonférence décrite du point E' comme centre avec E'C' comme rayon; les positions extrêmes que pourra prendre l'extrémité C' de la manivelle sur la circonférence dont nous venons de parler, se trouveront aux intersections D et D' de cette circonférence avec d'autres circonférences décrites du point C'' avec des rayons égaux à C''*a* et C''*a'*. Les manivelles pourront donc s'écarter du parallélisme, soit dans un sens, soit dans l'autre, de l'angle représenté par DE'C' ou D'E'C'; et l'on voit facilement que ces angles, comme les arcs DC' et D'C' qui leur correspondent, pourront être d'autant plus grands, pour un jeu déterminé, que la circonférence DC'D' coupera l'horizontale C'C'' sous un plus grand angle, c'est-à-dire que les manivelles E'C' et E''C'' seront plus près d'être horizontales.

M. Rarchaert suppose que, lorsque les manivelles sont verticales, l'écart est sans importance, ce qui me paraît vrai, et il montre que la différence de diamètre des roues ne pourra pas lui donner une bien grande valeur, quand les manivelles deviendront horizontales, après un quart de tour des roues, pourvu qu'on ne laisse pas cette différence de diamètre atteindre une valeur inacceptable dans tous les systèmes de machines à roues couplées. Comme enfin cet écart doit redevenir insignifiant toutes les fois que les

manivelles sont verticales, il y aura forcément des glissements à la jante; mais cela se présente aussi dans les machines ordinaires quand les roues n'ont pas rigoureusement le même diamètre, et même encore quand elles ne portent pas, par suite du jeu de la conicité, sur des cercles de roulement de même rayon. Seulement dans les accouplements ordinaires ce glissement à la jante est plus régularisé; en effet, pendant que dans la machine de M. Rarchaert, le défaut de parallélisme a la plus grande liberté de se produire lorsque les manivelles sont horizontales, dans les machines ordinaires, lorsque d'un côté les manivelles sont horizontales, elles sont verticales de l'autre, en sorte que le défaut de parallélisme est plus souvent rectifié et le glissement à la jante plus régularisé.

Une autre objection faite à la bielle droite, et qui a déjà été signalée, concerne la transmission des efforts par cette bielle d'un truck à l'autre; bien que M. Rarchaert ne paraisse pas y attacher une bien grande importance, il l'a examinée avec attention et l'a formulée, dans l'une de ses lettres, de la manière suivante :

« La bielle droite transmet régulièrement les efforts « de l'arbre moteur; mais sur une pente, alors que la vapeur n'agit plus, ce sont les roues qui commandent la « bielle, laquelle alors possède ses points morts, si l'un « des trains éprouve des effets de ralentissement extérieurs, « par l'action des freins, par exemple. »

1° Il n'est pas entièrement exact de dire que sur une pente, alors que la vapeur n'agit plus, ce sont les roues qui commandent la bielle de transmission, parce qu'en réalité c'est l'ensemble de la machine et même le train tout entier qui entraîne le mécanisme. Le tout se meut, dès que la vapeur n'agit plus, en vertu de la vitesse acquise et en certains cas par l'action de la pesanteur. Comme dans ces conditions l'adhérence n'est pas mise en jeu, que les roues n'ont pas de tendance à patiner, le mouvement se poursuit

régulièrement jusqu'au moment où la machine s'arrête, et sans qu'il y ait à redouter jusqu'à ce moment l'influence des points morts que le mécanisme peut présenter en principe; car, sauf les irrégularités périodiques dans la transmission des efforts, les points morts ne sont pratiquement à craindre qu'au démarrage, alors que la machine n'est pas lancée. La machine Roy elle-même, toute vicieuse qu'elle était dans son principe, marchait, autant que je puis le savoir, quand elle avait démarré, et elle devait même démarrer seule quand l'adhérence des roues de ses deux essieux du milieu était suffisante pour ce démarrage, parce qu'alors les essieux extrêmes étaient entraînés par l'intermédiaire du châssis général; mais cette machine n'agissait alors que comme une machine à adhérence partielle, et ne fonctionnait plus avec adhérence totale, contrairement à ce que son auteur avait annoncé, au passage des points morts. La machine Barchaert ne présente pas cet inconvénient; car, ainsi que je l'ai expliqué, son adhérence totale pourra toujours être utilisée pour le démarrage.

2° Il est exact qu'une bielle droite unique ne peut transmettre régulièrement des efforts, comme l'action d'un frein, d'un truck à l'autre, ou, pour dire autrement, que cette transmission présente des points morts. Dans ce cas, les équations précédemment établies

$$\varphi' + \varphi'' = \varphi, \qquad N' + N'' = N,$$

$$\left[\left(\varphi' + \varphi''\right)\cos\omega + \left(N' + N''\right)\sin\omega\right] h =$$

$$\left[\left(\varphi' - \varphi''\right)\sin\omega - \left(N' - N''\right)\cos\omega\right] l,$$

deviennent incompatibles quand les coudes des essieux sont horizontaux, c'est-à-dire pour $\omega = 90°$; alors en effet φ est nul, puisqu'on suppose que la vapeur n'agit plus, et l'on a $\varphi' + \varphi'' = 0$, d'où l'on conclut

$$h(N' + N'')\sin\omega - \left[2\varphi'\sin\omega - (N' - N'')\cos\omega\right] l = 0.$$

Si h est nul, cette relation devient

$$2\varphi' \sin \omega - (N' - N'') \cos \omega = 0,$$

équation qui ne peut être satisfaite pour $\omega = 90°$, à moins que φ' et par conséquent φ'' ne soient nuls, ce qui montre que dans ce cas toute transmission d'effort par la bielle est impossible et qu'il y a bien point mort.

Si h n'est pas nul, les équations précédentes ne présentent plus cette incompatibilité pour $\omega = 90°$ et la transmission des efforts est toujours possible; on a en effet, en remplaçant $N' + N''$ par sa valeur N,

$$Nh \sin \omega - [2\varphi' \sin \omega - (N' - N'') \cos \omega] \, l = 0,$$

relation qui devient, pour $\omega = 90°$,

$$Nh = 2\varphi' l.$$

L'effort φ' pourra donc être transmis d'un truck à l'autre, pourvu que le coude du faux essieu puisse exercer sur le sommet de la bielle, avec lequel il est articulé une action radiale N égale à $\frac{2\varphi' l}{h}$, action qui, pour la même valeur de φ', sera d'autant plus grande que h sera plus petit, c'est-à-dire que la forme triangulaire sera moins accusée, et qui devrait être infinie pour $h = 0$, si alors φ' et φ'' n'étaient pas nuls.

Si donc nous supposons qu'un frein vienne agir sur les roues du truck d'arrière, son action ne se transmettra en partie au truck d'avant que d'une façon irrégulière, mais la locomotive entraînée par la vitesse acquise n'en poursuivra pas moins sa route jusqu'à l'arrêt complet, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'on ait obtenu le résultat désiré. Jusque-là les points morts seront franchis en vertu de la vitesse acquise; on se trouvera dans les mêmes conditions que celles que présente une machine fixe qui transmet le mou-

vement à un arbre de couche par une bielle unique et à qui le volant fait franchir les points morts ; or dans notre espèce le volant ne manque pas, puisqu'il est représenté par la masse entière de la locomotive et du train. Les points morts ne seraient donc à craindre qu'au démarrage, et alors il n'y en a pas, comme je l'ai surabondamment expliqué. Il pourrait, il est vrai, se produire des efforts considérables entre les différentes pièces du mécanisme, si le frein venait à enrayer complétement les roues sur lesquelles il agit ; mais cet inconvénient peut se présenter aussi dans les machines ordinaires à roues couplées, lorsqu'un frein est appliqué sur quelques-unes de ces roues.

En résumé l'objection contre la bielle droite que nous venons de discuter revient à dire qu'une bielle unique de cette forme n'est pas propre à transmettre régulièrement des efforts d'un truck à l'autre, lorsque le faux essieu est devenu un *arbre fou* par la fermeture du régulateur ; mais après tout, on peut facilement ne pas se mettre dans cette situation. Je ne parle pas de l'artifice qui consisterait à faire agir *également* le frein sur les deux trucks à la fois ; je ne crois pas que cela soit pratique ; du reste, j'ai déjà fait connaître les inconvénients graves du frein employé par M. Rarchaert et indiqué que le seul frein rationnel pour sa machine était le frein à contre-vapeur. Si l'on substituait en effet ce frein au frein à sabots, il agirait directement sur le faux essieu et indirectement, par l'intermédiaire de la bielle de transmission, sur les essieux des trucks ; et cette action deviendrait aussi régulière, aussi symétrique que l'action même des pistons produisant le mouvement de la machine. Dans l'un et l'autre cas, la bielle recevrait en son milieu l'effort qu'elle doit transmettre par parties égales à ses deux extrémités, et dans la marche à contre-vapeur il n'y aurait pas plus de point mort que dans la marche directe.

M. Rarchaert n'attache pas plus que moi d'importance aux deux objections que je viens de discuter : « C'est, dit-« il dans une note, par obéissance d'abord à l'opinion « générale, si je puis m'exprimer ainsi, que j'imaginai la « forme trangulaire peu prononcée, que je fis transformer « mon modèle en conséquence, et que je pris un certificat « d'addition. » Mais M. Rarchaert a conservé à l'endroit de la bielle de transmission droite des scrupules personnels qu'il formule comme il suit :

« J'ai toujours craint, dit-il, que sous une action brusque « de la vapeur, les coudes étant horizontaux, les roues d'un « train pourraient être entraînées plus tôt que celles de « l'autre train, si le poids porté et l'état des rails venaient « à modifier les conditions d'adhérence qui, théoriquement, « devraient être les mêmes pour chacun des deux trucks. « J'ai craint surtout des écarts de parallélisme entre les « manivelles des essieux coudés, dans les conditions indi-« quées ci-dessus, lorsque les coussinets, après un certain « parcours, auraient pris assez de jeu pour laisser échapper « le tourillon à l'action directe et immédiate de l'effort mo-« teur..... Il me restait toujours la crainte que des re-« tards possibles d'une manivelle sur l'autre pourraient « occasionner des coincements, des mouvements forcés « destructeurs des organes, et par suite des conditions de « fonctionnement médiocre qui pourraient être justement « critiquées. Dans cette hypothèse encore (*fig.* 35, Pl. V), où « les manivelles perdraient leur parallélisme, la machine ne « pourrait démarrer que si les pistons étaient assez puis-« sants pour déterminer le patinage de l'un des trains et « vaincre son adhérence dans toutes les conditions possi-« bles, même quand elle pourrait s'élever, par les temps « secs, à $\frac{1}{5}$ ou à $\frac{1}{4}$ du poids porté par les roues. Il faudrait « donc des pistons énormes, d'autant plus que leur action « s'exerçant au milieu de la bielle, perdrait la moitié de sa « puissance pour déterminer le patinage d'un train. »

Cette dernière assertion de M. Rarchaert n'est pas exacte ; en effet, c'est seulement quand les coudes des essieux seraient horizontaux ou à peu près que le défaut de parallélisme de ces coudes pourrait rendre le démarrage difficile, d'après les idées mêmes de M. Rarchaert ; or, dans ces conditions, l'action de la vapeur sur les pistons existants suffirait pour faire patiner les quatre roues d'un des trucks sous la charge de 16.000 kilog., pourvu que les deux lumières fussent ouvertes, c'est-à-dire que la vapeur de la chaudière pût alors pénétrer dans les deux cylindres ; or, cette condition serait réalisée avec des angles de calage théoriquement égaux à 22° 1/2, ce qui est une valeur faible, mais très-admissible, et qui correspond à une pleine admission pour le premier cran de la coulisse, de 85 p. 100 environ de la course totale des pistons.

La longueur des manivelles du faux essieu, sur lesquelles agissent les bielles des pistons, est de $0^m,25$. Comme ces manivelles, à angle droit l'une sur l'autre, forment des angles de 180°— 45° avec le coude du faux essieu, le bras de levier des efforts exercés par les bielles sur ces manivelles sera égal, dans la position supposée du mécanisme, à $0^m,25 \times \frac{\sqrt{2}}{2}$.

Au démarrage dans cette position, la contre-pression sera rigoureusement égale à une atmosphère, et, comme la chaudière est timbrée à 9 kilog., la pression effective de la vapeur sur les pistons pourra être de 9 kilog. Supposons 8 kilog. seulement ; cette condition sera toujours réalisée, le mécanicien ayant intérêt à maintenir la pression aussi élevée que possible, sauf à pousser la détente plus ou moins loin. Le diamètre des pistons est de 40 centimètres et leur surface de 1.257 centimètres carrés ; la pression totale effective de la vapeur sur chacun d'eux sera donc, à raison de 8 kilog. par centimètre carré,

$$1257 \times 8^k \quad \text{ou} \quad 10.056^k.$$

Le moment de cette force par rapport à l'axe du faux essieu sera

$$10.056^{k} \times 0^{m},25 \times \frac{\sqrt{2}}{2},$$

et la somme des moments des deux forces semblables :

$$10.056^{k} \times 0^{m},25 \times \sqrt{2}.$$

Il en résulte que l'effort transmis au sommet de la bielle par le coude du faux essieu, dont la longueur de manivelle est $0^{m},25$, sera égale à

$$10.056^{k} \sqrt{2},$$

et que l'effort transmis à l'essieu coudé de chaque truck sera

$$10.056^{k} \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

Comme les roues ont $0^{m},55$ de rayon, cet effort reporté à la circonférence des roues, c'est-à-dire sur le rail, sera égal à

$$10.056^{k} \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{0^{m},25}{0^{m},55} = 3.245^{k}.$$

Or, en admettant $\frac{1}{5}$ pour coefficient d'adhérence, ce qui est excessif, l'adhérence totale d'un truck serait égale à

$$\frac{16.000^{k}}{5} \quad \text{ou} \quad 3.200^{k}.$$

Ainsi donc une pression effective de 8 kilog. par centimètre carré sur les pistons existants suffirait, contrairement à l'opinion de M. Rarchaert, pour faire patiner les roues d'un des trucks et, par suite, pour rectifier immédia-

tement le parallélisme des coudes des essieux de ces trucks. Ce qu'on pourrait craindre, c'est que cette rectification s'opérât sur place, c'est-à-dire avant que la machine ait commencé à se déplacer, et qu'ensuite le patinage terminé, le train ne fût trop brusquement entraîné et les attelages trop brusquement tendus, ce qui pourrait causer leur rupture. Je ne pense pas qu'une pareille crainte soit bien fondée, car la vapeur agissant alors à pleine pression, ce ne sera pas sur place, mais en même temps que la machine avancera déjà, que la rectification du parallélisme des manivelles s'opérera, et si, à la suite de cette rectification, il se produit ce qu'on appelle un *coup de traction*, les attelages, à mon avis, devront être déjà assez tendus pour qu'il n'y ait guère à redouter des ruptures.

Toutefois la chose, je le reconnais, est délicate, et je ne saurais avoir une confiance entière à ce sujet; mais je suis conduit alors à examiner si le parallélisme des coudes des essieux est exposé en pratique à être sérieusement altéré. Ainsi que le dit M. Rarchaert avec raison et que *je l'ai* indiqué précédemment, le parallélisme des coudes est rectifié d'une façon suffisante et dans la même mesure que pour les machines ordinaires, quand ces coudes passent par leurs positions verticales; donc, pour que la machine de M. Rarchaert, au moment où elle s'arrête, présentât un défaut de parallélisme nuisible des coudes, il faudrait : 1° que les coudes fussent très-voisins de leurs positions horizontales au moment de l'arrêt; 2° que ce défaut de parallélisme se fût produit dans un simple quart de tour de roue. Par quelle cause cela arriverait-il? Par l'action inégale des causes d'arrêt qui agissent sur les deux trucks, comme, par exemple, lorsque le frein n'agit que sur l'un d'eux; mais si, comme j'en ai déjà indiqué l'utilité, sinon la nécessité, on remplace le frein à sabots par le frein à contre-vapeur, il me semble qu'il ne restera plus de cause bien sérieuse pouvant amener dans un quart de tour des roues

une altération sensible du parallélisme des coudes des essieux, puisque les efforts transmis à ces essieux n'auront pas cessé d'être égaux.

En toute rigueur cette altération du parallélisme, par suite de rotations inégales et même inverses des essieux coudés des trucks, est géométriquement possible, et dans des circonstances exceptionnelles qu'on doit regarder alors comme de véritables accidents, il peut arriver que dans le voisinage de leurs positions horizontales les deux coudes des essieux des trucks se placent l'un par rapport à l'autre, comme l'indique la *fig.* 35, Pl. V.

« Eh bien! dit M. Rarchaert dans la note qui accom-
« pagne ce mémoire, en restreignant mes scrupules à cette
« seule possibilité, je trouve que cette possibilité est de
« trop; elle m'a paru d'ailleurs une raison suffisante pour
« porter mes préférences sur l'accouplement triangulaire,
« avec lequel le parallélisme est *assuré* d'une manière
« satisfaisante. »

Expliquons-nous sur ce point :

Géométriquement parlant, avec la bielle triangulaire comme avec la bielle droite, ce parallélisme peut être altéré, et les deux coudes des essieux des trucks peuvent prendre la position critique représentée par la *fig.* 35, attendu qu'ainsi que nous l'avons précédemment montré, on est forcé de conserver dans l'articulation du sommet de la bielle avec le coude du faux essieu un jeu assez important et d'autant plus grand que la forme triangulaire de la bielle est plus accentuée, pour assurer le franchissement des irrégularités de la voie. Examinons la question de plus près et cherchons si cette forme triangulaire, sans s'opposer à ce que la bielle prenne la position critique de la *fig.* 35, peut au moins l'atténuer et contribuer même à la faire disparaître, c'est-à-dire favoriser le rétablissement du parallélisme des coudes des essieux des trucks; on va voir qu'il en est bien ainsi avec les dimensions adoptées

par M. Rarchaert, et qu'à cet égard la bielle triangulaire est préférable; mais on ne devra pas oublier qu'elle a aussi ses inconvénients, que nous avons surabondamment exposés dans les précédents chapitres.

La *fig.* 36, Pl. V, représente en projection sur le plan vertical méridien les trois essieux coudés E, E′, E″; on y a indiqué en lignes pleines les coudes EC, E′C′, E″C″ de ces essieux dans la position horizontale qu'ils devraient prendre normalement et simultanément, si les articulations C, C′, C″ n'avaient aucun jeu; on y a indiqué de la même manière la position normale de la bielle de transmission CC′C″.

Dans les conditions régulières correspondant à l'absence de jeu dans les articulations, c'est-à-dire les assemblages étant réduits à toute leur simplicité géométrique, la base C′C″ de la bielle de transmission devrait être constamment horizontale; mais comme ce jeu inévitable est de plus nécessaire, ainsi que nous l'avons expliqué, il en résultera que la base C′C″ pourra s'écarter de l'horizontale et faire avec elle un certain angle β nécessairement toujours *petit*; nous avons figuré en traits interrompus la position $C_1C_1'C_1''$ de la bielle de transmission ainsi dérangée de sa position normale, au moment où le milieu H de sa base C′C″ traverse l'horizontale E′E″ des essieux des trucks. A ce moment le coude $E'C_1'$ a encore à tourner d'un angle α pour atteindre la position horizontale, et le coude E″C″ a dépassé cette position d'un angle égal.

Ce qu'il nous importe de savoir, c'est si cette perturbation ou déviation que mesure l'angle β peut aller jusqu'à produire le coincement des articulations C_1' et C_1'', et par suite jusqu'à rendre impossible la rectification du parallélisme des coudes $E'C_1'$ et $E''C_1''$.

Il est nécessaire, comme nous l'avons rappelé tout à l'heure, pour le franchissement des inégalités de la voie, de laisser à l'articulation C un certain jeu σ dans chaque sens, en sorte que le diamètre du coussinet C devra sur-

passer de 2σ le diamètre de la portée du coude du faux essieu; nous avons vu d'ailleurs au chapitre III que l'on devait prendre pour valeur *minima* de σ

$$\sigma = \frac{\Delta h}{2l},$$

Δ désignant la hauteur dont le milieu de l'essieu coudé de l'un des trucks peut être accidentellement soulevé ou abaissé, h la hauteur HC de la bielle de transmission et $2l$ la longueur de sa base C'C''.

D'autre part, nous avons vu au même chapitre que les articulations C' et C'' doivent aussi avoir un certain jeu pour permettre l'inscription de la machine dans les courbes; or, si le coude de l'essieu d'avant n'était pas en retard, par suite de l'altération du parallélisme, il devrait être en $E'C_2'$, quand le coude de l'essieu d'arrière est en $E''C_1''$; ce qui montre que la base de la bielle de transmission a dû, à la faveur du jeu des articulations C' et C'', passer de sa longueur normale $2l$ à la longueur $\frac{2l}{\cos\beta}$; désignant par 2ε cette différence ou l'augmentation de la distance des deux articulations C' et C'', nous aurons :

$$\varepsilon = \frac{l}{\cos\beta} - l = \frac{l(1 - \cos\beta)}{\cos\beta},$$

et très-approximativement, puisque β est toujours un très-petit angle,

$$\varepsilon = \frac{l\beta^2}{2}.$$

Mais, d'autre part, la plus grande valeur que puisse acquérir l'angle β est limitée par le jeu σ de l'articulation du

sommet C de la bielle de transmission, et, comme le montre la *fig.* 36, on a évidemment :

$$\beta = \frac{CC_1}{CH} = \frac{\sigma}{h},$$

ce qui donne :

$$\varepsilon = \frac{l\sigma^2}{2h^2},$$

ou, en remplaçant σ par sa valeur $\frac{\Delta h}{2l}$,

$$\varepsilon = \frac{\Delta^2}{8l};$$

en adoptant pour Δ la valeur de $0^m,02$ que nous avons précédemment reconnue excessive, comme $l = 0,80$, on trouve pour ε moins des deux tiers d'un dixième de millimètre.

Or, l'ajustage des articulations E' et E'' présentera toujours en pratique un jeu plus grand et d'ailleurs nécessaire, comme nous l'avons montré au chapitre III, pour que la machine puisse s'inscrire régulièrement dans des courbes de faibles rayons.

Il faut donc de ce qui précède conclure que, malgré le jeu qu'il est indispensable de conserver dans l'articulation C, en vue des irrégularités de la voie, le coude EC du faux essieu pourra encore dans tous les cas empêcher le coincement des articulations C' et C'' et rendre géométriquement possible la rectification du parallélisme des coudes E'C' et E''C'' des essieux des trucks.

Mais il y a plus : en limitant l'altération du parallélisme des coudes des essieux des trucks, le coude du faux essieu aidera à rétablir ce parallélisme en favorisant mécaniquement les glissements nécessaires à la jante des roues.

En effet, lorsque la bielle centrale s'écartera de sa position normale, son sommet C se transportera en C_1, où il viendra buter contre le coude du faux essieu qui peut s'opposer, au moins jusqu'à l'écrasement du bronze du coussi-

net, à une plus grande déviation. Par réaction, le coude du faux essieu exercera donc contre le sommet C de la bielle un effort radial N, en même temps qu'il exercera sur ce sommet un effort tangentiel φ. Dans le cas de la figure, l'effort radial N est horizontal et dirigé de l'arrière à l'avant; l'effort tangentiel φ est vertical et dirigé de haut en bas.

Les deux forces φ et N sont appliquées au sommet C de la bielle; la force φ peut être regardée comme appliquée au milieu H de la base C'C'' de cette bielle. La force horizontale N peut aussi être transportée au point H par l'addition d'un couple dont le moment sera égal à Nh.

La force verticale φ se reportera par parties égales $\frac{\varphi}{2}$ sur les deux articulations C' et C''; quant au couple Nh, il aura pour effet de surcharger l'articulation C' d'un effort vertical égal à $\frac{Nh}{2l}$ et de décharger d'autant l'articulation C''; les charges verticales φ' et φ'' de ces deux articulations seront donc égales à

$$\varphi' = \frac{\varphi}{2} + \frac{Nh}{2l}$$

et

$$\varphi'' = \frac{\varphi}{2} - \frac{Nh}{2l}.$$

Or, φ' et φ'' sont les efforts qui tendent à faire tourner les deux coudes E'C' et E''C'' des essieux des trucks; on voit que c'est le coude en retard E'C' qui se trouve soumis à l'effort le plus grand, et le glissement à la jante nécessaire pour rectifier le parallélisme des deux coudes se produira dès que φ' ou $\varphi + \frac{Nh}{2l}$ atteindra une grandeur suffisante.

Pour que ce résultat soit obtenu, N devra être d'autant plus grand que h sera plus petit, c'est-à-dire que la forme triangulaire de la bielle de transmission sera moins accu-

sée. La grandeur de h n'aura pas d'ailleurs d'autre influence, car puisque l'on est obligé de donner au jeu σ de l'articulation C une valeur proportionnelle à h, la déviation angulaire de la bielle centrale, déviation que mesure l'angle β, aura toujours une même limite $\frac{\sigma}{h}$ ou $\frac{\Delta}{2l}$, quelle que soit la grandeur de h, pour une valeur déterminée Δ des irrégularités de la voie qu'il s'agit de franchir.

De ce qui précède, il résulte en résumé : 1° qu'avec une bielle de transmission triangulaire on limite beaucoup plus qu'avec une bielle droite le défaut de parallélisme des coudes des essieux des trucks, et qu'on évite toute possibilité de coincement des articulations de ces coudes avec la bielle de transmission; 2° qu'avec la bielle triangulaire on conserve la possibilité de transmettre, sans points morts, des efforts d'un truck à l'autre par l'intermédiaire de la bielle centrale et en utilisant la réaction radiale N du coude du faux essieu sur le sommet de cette bielle; voilà quels sont les véritables avantages de la bielle triangulaire, et, après mûre réflexion, j'admets, avec M. Rarchaert, qu'il vaut mieux ne pas les sacrifier. Mais on a vu qu'il faudra alors accepter des variations assez importantes dans la pression que les roues exercent sur les rails et aussi dans la charge des ressorts de suspension. Avec les dimensions adoptées et quand la vapeur, ce qui d'ailleurs n'aura pas lieu toujours, agira avec toute sa puissance, la charge des essieux coudés des trucks pourra varier, comme nous l'avons vu, de 7.000 à 9.000 kilog., tandis qu'elle resterait constante et égale à environ 8.000 kilog. si la bielle de transmission était droite; mais cet écart de 1.000 kilog. autour de la valeur de la charge statique ne saurait avoir d'effet bien sérieux, même sur les rails de faible équarrissage, attendu que les points de ces rails où la surcharge se manifestera ne sont pas déterminés à l'avance et ne seront pas les mêmes dans deux voyages de la machine.

Il en sera tout autrement pour les bandages des roues; car c'est toujours aux mêmes points de ces bandages que la surcharge se manifestera, ce qui abrégera leur durée et obligera de les passer plus fréquemment sur le tour.

Mais en somme, tous ces inconvénients sont bien peu de chose auprès des avantages considérables qu'offre la machine Barchaert pour la conservation de la voie; l'expérience sur ce point a été concluante, en même temps qu'elle a montré que les inconvénients que l'on vient de rappeler n'empêchent pas cette machine de faire un très-bon service. Le dispositif adopté par M. Barchaert est donc une transaction qui a pour but, non d'éviter toutes les imperfections, mais de les restreindre dans des limites très-acceptables en pratique; la transaction est d'ailleurs très-heureuse et remarquablement étudiée : elle ne vaut pas moins à mes yeux que toutes celles qu'on est obligé de subir dans les locomotives ordinaires.

On peut être tenté de se demander, en quelque sorte par acquit de conscience, si l'on ne pourrait pas imaginer un mécanisme à l'abri des inconvénients que nous avons signalés. La réponse à cette question serait facile si l'on pouvait s'en tenir, en pareille matière, à des conceptions théoriques et purement géométriques.

On conçoit immédiatement que si l'on pouvait juxtaposer dans le plan méridien de la machine deux bielles droites de transmission articulées avec le faux essieu et les essieux voisins des trucks sur deux séries de coudes placés à angle droit, toutes les objections ou incertitudes précédemment signalées disparaîtraient. On arriverait ainsi à une disposition qui serait tout à fait inverse de celle que l'on connaît dans les locomotives à cylindres intérieurs et à roues couplées. Dans ces locomotives, en effet, l'action des pistons est reçue par l'essieu moteur doublement coudé vers son milieu, et cet essieu est accouplé à ses extrémités avec les essieux voisins, au moyen de bielles articulées sur

des manivelles à angle droit. Dans la modification théorique que nous venons d'indiquer pour la machine Barchaert les choses seraient renversées : le faux essieu, supposé placé au même niveau que les essieux des trucks, recevrait l'action des pistons sur des manivelles extérieures et la transmettrait à ces derniers essieux au moyen de deux bielles intérieures qui, si elles pouvaient être regardées comme situées l'une et l'autre dans le plan méridien de la machine, ne gêneraient pas la convergence des essieux porteurs. Mais si l'on y réfléchit bien, on verra que cette disposition que nous avons pu concevoir en théorie et qui d'ailleurs serait compliquée et dispendieuse, puisqu'elle supposerait trois essieux à deux coudes, ne pourrait être en pratique que fort incomplétement réalisée, attendu que la distance des axes des deux bielles de transmission, ou, si l'on veut, des milieux des deux coudes de chaque essieu, serait une fraction très-notable de la longueur de cet essieu ; néanmoins cette disposition, que je n'ai indiquée qu'à titre purement théorique, n'était peut-être pas indigne d'être signalée ; car on conçoit qu'avec un jeu suffisant des articulations qui en permettrait le fonctionnement, elle faciliterait dans une mesure très-notable la convergence des essieux.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

Pour apprécier le mérite de l'invention de M. Barchaert, il est essentiel de ne pas perdre de vue la véritable nature du problème qu'il s'agissait de résoudre. Il s'agissait en effet de transmettre l'effort développé par un moteur unique à deux groupes d'essieux, sans leur enlever la liberté de converger dans une certaine mesure et en utilisant l'adhérence totale des roues ; j'entends d'ailleurs par moteur unique l'ensemble de deux cylindres dont les pis-

tons agissent sur un même essieu, au moyen de manivelles calées à angle droit sur cet essieu.

L'adhérence totale et la convergence des essieux seraient facilement réalisées en dédoublant la locomotive unique et en employant à sa place deux locomotives plus courtes et de puissance moitié moindre; cette solution a été indiquée pour la traction sur des voies à faible rayon et à pentes considérables, à propos du concours du Semmering, par des gens fort compétents; elle revenait à admettre deux moteurs et deux chaudières séparés, placés sur des véhicules attelés ensemble, mais distincts. On a cherché toutefois à simplifier en principe ce dédoublement, et l'on est arrivé à un ensemble comportant encore deux châssis porteurs et deux moteurs, mais avec un seul générateur; les machines *Séraing*, *Fairlie*, *Meyer*, etc., sont dans ce cas; on n'était donc pas parvenu ainsi à une machine véritablement unique, à adhérence totale et permettant la convergence des essieux, ce qui est le résultat obtenu par M. Rarchaert.

Toutes les tentatives faites en effet avant lui pour réaliser à la fois avec un moteur unique l'adhérence totale et la convergence des essieux n'ont abouti à aucun type qui soit passé dans la pratique. En outre, toutes avaient pour but exclusif d'accoupler deux trains, dont l'un portait les cylindres moteurs, que ces trains fussent ceux d'une machine américaine ou fussent équivalents au fond à la disposition plus ou moins modifiée du train de Bissel. Dans tous les cas l'axe du châssis général et de la chaudière, c'est-à-dire de la masse principale, se trouvait placé suivant une tangente menée, par le centre d'un des trains accouplés, à la courbe moyenne de la voie, tandis que dans la machine Rarchaert, comme dans le wagon américain, cet axe est placé au-dessus de la corde de la même courbe qui joint les centres des deux trains. Pour la symétrie et pour la stabilité cela est assurément d'une grande importance, et sous ce rapport la disposition de M. Rarchaert est, au-

tant que je puis le savoir, entièrement nouvelle. Je suis donc en droit de maintenir en la précisant, après l'avoir justifiée, la conclusion que j'avais annoncée au début de ce mémoire, et de dire : que depuis longtemps les constructeurs de locomotives ne comportant qu'un seul moteur se sont attachés à réaliser séparément tantôt l'adhérence totale, tantôt la flexibilité, en sacrifiant, suivant les cas, l'une de ces conditions à l'autre, et que parmi ceux qui ont tenté de les réaliser toutes les deux à la fois, je suis porté à croire que c'est M. Rarchaert qui a le mieux et même le premier réussi pratiquement.

LOCOMOTIVE A ADHÉRENCE TOTALE
ET A ESSIEUX CONVERGENTS.

NOTE

PAR M. RARCHAERT.

Je me bornerai à dire quelques mots, au seul point de vue de la pratique, du principe essentiel de ma machine, puisque l'étude théorique en a déjà été faite, d'une manière complète et approfondie, par M. l'ingénieur des mines chargé du contrôle.

Comparaison entre les fonctions de la bielle droite et de la bielle triangulaire. — Dans cette étude si détaillée et si savante, M. Massieu recherche, développe et démontre les propriétés nouvelles et toutes particulières de la bielle de transmission ; il met ainsi en lumière et en évidence le côté tout caractéristique de mon système, consistant dans l'accouplement de deux groupes d'essieux convergents au moyen d'une *bielle unique* et sans *point mort;* et il insiste particulièrement sur cette remarque, qu'il est peu important, pour le bon fonctionnement de ce mode de transmission, de placer l'essieu moteur à un niveau différent de celui des autres essieux, — disposition qui conduit à une bielle de forme triangulaire, — ou de mettre ce même essieu moteur à la même hauteur que les autres, — ce qui impliquerait une bielle rectiligne, pourvu que dans l'un comme dans l'autre cas, la bielle ait assez de rigidité et de résistance pour supporter, en son milieu, les efforts verti-

caux qu'elle reçoit de l'arbre moteur sous l'action des deux cylindres.

Toutefois, M. Massieu établit cette distinction que, dans le cas où la bielle est rectiligne, la régularité dans les efforts transmis *directement* est d'une perfection absolue en principe, tandis qu'une pareille régularité n'existe plus dans le cas d'une bielle triangulaire.

Avec une bielle triangulaire, en effet, il se produit dans les efforts transmis des directions obliques, qui engendrent des variations dans la charge des essieux et des ressorts. Ces variations sont proportionnelles à l'effort de traction, et elles sont peu importantes d'ailleurs, même quand la machine développe toute sa puissance; elles sont inférieures, après tout, à celles qui se produisent, mais qui sont dues à d'autres causes, dans les machines ordinaires, par conséquent, disons-le de suite, il n'y a pas lieu de s'en préoccuper au point de vue de la pratique.

La forme triangulaire de la bielle ou plutôt la forme triangulaire de l'accouplement, produit aussi des déformations géométriques qui altèrent les longueurs entre différentes pièces de mécanisme, — mais seulement lorsque la machine parcourt des voies très-inégales, — et ici encore l'expérience a montré que ces altérations de longueurs, d'ailleurs accidentelles et de très-courte durée, trouvent, pour se produire sans inconvénient, des ressources suffisantes dans le jeu strictement nécessaire au mouvement des organes, même pour des obstacles qui dépassent, soit en creux, soit en saillie, des différences de niveaux inusitées, constituant pour la voie de véritables accidents.

Quoi qu'il en soit de ces défauts purement théoriques, ils disparaîtraient par l'emploi d'une bielle rectiligne, et c'est pour obtenir ce résultat, qui donnerait à ma machine une perfection absolue en principe, que M. Massieu avait été amené à en indiquer, — je ne dirai pas recommander, — l'application.

Pourquoi la bielle triangulaire doit être préférée. — Mais si la bielle rectiligne est parfaite en théorie, il n'est malheureusement pas certain qu'elle le soit en pratique ; c'est ce côté capital du problème que la bielle triangulaire était appelée à résoudre, et qu'elle a bien, en effet, résolu pratiquement. Je me suis déjà expliqué au sujet de la bielle droite, et M. Massieu a bien voulu reproduire dans son mémoire (pages 392 et suivantes), mes raisons personnelles. Il est certain qu'avec une bielle rectiligne les coudes, quand ils sont horizontaux ou voisins de cette position, pourraient perdre leur parallélisme, surtout quand les coussinets auraient pris du jeu par l'usure ; et, s'il est difficile de prévoir, de calculer les probabilités de cette altération du parallélisme, on peut dire du moins qu'elle est possible. Eh bien ! en restreignant mes scrupules à cette seule possibilité, je trouve que cette possibilité-là est de trop ; elle m'a paru d'ailleurs une raison suffisante pour porter mes préférences sur l'accouplement triangulaire, avec lequel le parallélisme est *assuré* d'une manière satisfaisante.

La bielle triangulaire transmet *directement aux deux trains*, comme la bielle droite, les efforts qu'elle reçoit des pistons ; elle transmet en outre, *indirectement entre les deux trains*, leurs efforts mutuels qui peuvent résulter momentanément de leur inégalité d'adhérence ou de l'action d'un frein. En raison de cette double fonction, il faut reconnaître, finalement, que la bielle triangulaire *seule* ne peut jamais avoir de point mort, que, par conséquent, on peut toujours, à tout instant et en toutes circonstances, compter sur elle, ainsi que l'expérience l'a d'ailleurs surabondamment démontré ; et sous ce rapport, que je considère comme le fait dominant, les avantages de la bielle triangulaire sur la bielle droite sont trop clairs, trop évidents, trop palpables pour être discutés.

Déjà, à l'origine et à court intervalle, je me suis trouvé en présence de ces deux formes de la solution, entre les-

quelles je n'avais qu'à choisir : entre la bielle droite, laissant des doutes et des craintes, et la bielle triangulaire, donnant toute certitude. L'hésitation n'était pas possible, elle n'était pas permise.

Avec une bielle droite, on pouvait voir une grande expérience à risquer ; avec une bielle triangulaire, ce n'était plus qu'une construction à établir. C'est sous cette dernière forme qu'elle a été soumise à la commission des inventions et des règlements de chemins de fer, qui l'a honorée par deux fois différentes de sa haute approbation, d'après les rapports de M. Couche ; elle recevait plus tard, et comme conséquence, les encouragements de l'administration supérieure.

Construction comparée de la bielle droite et de la bielle triangulaire. — Après avoir comparé les fonctions de la bielle droite et de la bielle triangulaire, il faut examiner aussi leur construction particulière. Nous touchons ici à des considérations moins importantes, mais qui sont aussi d'un ordre pratique plus positif.

Pour donner à la bielle rectiligne une rigidité et une solidité suffisantes, il conviendrait de la construire en forme de losange élargi ; elle descendrait donc très-près du ballast. Pour la relever, il faudrait, par conséquent, augmenter le diamètre des roues. Mais cette mesure impliquerait aussi une plus grande longueur de la bielle, qui exigerait encore, par suite, un accroissement de sa plus grande section en hauteur. Son poids deviendrait ainsi considérable et ne pourrait être que très-difficilement équilibré.

Les mêmes difficutés n'existent pas pour la bielle triangulaire, qui trouve dans sa forme naturelle une rigidité et une solidité excessives. Par la disposition que je lui ai donnée dans l'exécution (Pl. VII, *fig.* 6 et 7), la bielle triangulaire a toutes les propriétés d'une poutre armée conso-

lidée encore par des tirants, le tout venu de forge. Par leur mode d'assemblage à talons, ses chapeaux fermant les cages des coussinets, font corps avec la bielle, qui atteint de la sorte, dans sa section la plus grande, une hauteur de $0^m,56$, capable de la faire résister aux plus grands efforts. Son poids est relativement faible; il est de 210 kilog., y compris ses trois coussinets en bronze.

Contre-poids. — Équilibre général. — En disposant les manivelles des roues et celles extérieures du faux essieu en opposition avec les coudes (Pl. VI, *fig.* 4), on réalise déjà un équilibre partiel. Si, de plus, on tient compte de la masse et de la position du retour de bras des excentriques, des poulies et colliers d'excentriques, et de celles des bielles motrices attachées aux pistons, en se limitant, bien entendu, pour ces dernières à leurs composantes verticales, on arrive à obtenir un ensemble exactement équilibré en plaçant, en des points convenables, des contre-poids de 42 kilog. sur les roues des essieux coudés, et de 22 kilog. sur les roues des essieux droits. Les contre-poids des essieux coudés sont fondus en quelque sorte entre eux, dans une certaine mesure, parce qu'ils ont à satisfaire tout à la fois à l'équilibre des masses en mouvement, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des roues. Les contre-poids des essieux droits sont simplement opposés directement aux manivelles des roues, qu'elles équilibrent avec leur tourillon et une moitié du poids de la bielle horizontale d'accouplement.

Cette disposition générale des contre-poids a donné en pratique les meilleurs résultats; c'est ainsi que la machine *la France* a pu fournir, en conservant une stabilité que je peux, à bon droit, qualifier de remarquable, une vitesse qui a pu aller jusqu'à 60 kilomètres à l'heure; et si l'on veut bien retenir que cette vitesse, déjà très-considérable, a été atteinte avec des roues motrices et accouplées de

$1^m,10$ seulement de diamètre, — ce qui porte à près de *cinq* le nombre de tours de roues par seconde, — on conviendra facilement, avec M. Massieu, que la question de l'équilibre des pièces en mouvement a été résolue avec de très-légers contre-poids, et d'une manière certainement très-simple et très-satisfaisante.

Pourquoi et comment la vitesse de 60 kilomètres à l'heure a été obtenue malgré le très-petit diamètre des roues. — La vitesse que peut prendre la machine a d'ailleurs été exagérée à dessein, au moyen d'un artifice que l'on n'aura pas le même motif de reproduire dans une autre locomotive. Cet artifice consiste à donner une avance linéaire plus grande à l'admission au moyen de tiroirs raccourcis. Dans la machine d'essai, l'avance linéaire des tiroirs s'élève à 8 millimètres, et elle est égale pour tous les crans du secteur, puisque la coulisse est renversée. Aussi cette machine est-elle prompte au démarrage ; et elle tend tout de suite à prendre des mouvements très-précipités.

Je me félicite d'avoir pu, en employant un moyen si simple, me donner la possibilité de *forcer* pour ainsi dire la démonstration des avantages de mon nouveau système, pour le passage des courbes. Dans les rayons de 250 mètres du chemin de fer de Vitré à Fougères, la machine circulait franchement, sans frottement aucun, et avec la même sécurité qu'en ligne droite, malgré la vitesse, je le répète, certainement très-considérable de 50 et même de 60 kilomètres à l'heure.

Je ne prétends pas que ma machine passerait à la même vitesse dans des courbes de 100 à 150 mètres de rayon ; mais je soutiens qu'elle les franchirait facilement à la vitesse de 30 à 35 kilomètres, pour laquelle, sauf le petit artifice de la distribution que j'ai fait connaître, cette machine est réellement construite. A cette vitesse plus faible, en effet, le nombre des tours de roues descend de

deux et demi à trois tours par seconde : c'est la condition consacrée par la pratique pour la bonne marche des locomotives.

Inconvénient des foyers en porte-à-faux.— Pourquoi les locomotives à trois essieux ont perdu leur stabilité. — L'abaissement du corps cylindrique a été indiqué comme un avantage qui semblerait résulter de l'emploi d'une bielle rectiligne. C'est là, je crois, une pensée tout à fait illusoire, d'une part, parce que la bielle en losange dépasserait notablement le niveau supérieur de l'axe des essieux et, d'autre part, parce que le diamètre des roues devrait être augmenté. Or l'augmentation du diamètre des roues comporte l'élévation du foyer ; et, si l'on veut conserver à celui-ci une profondeur convenable, il s'ensuit directement que la chaudière serait plus élevée avec une bielle droite qu'avec une bielle triangulaire, toutes les fois que l'on pourrait employer des roues de petit diamètre, soit $1^m,10$ ou $1^m,20$.

Avec ces roues basses, la bielle triangulaire a encore l'avantage de relever les cylindres et les grosses têtes des bielles motrices qui descendraient trop près du ballast avec une bielle de transmission rectiligne, surtout dans les fortes machines.

On a aussi émis l'idée de reculer le foyer au delà du quatrième essieu et de le placer en porte-à-faux. Pour cela, il faudrait allonger considérablement la chaudière, afin de reporter les cylindres très en avant et de contre-balancer le poids du foyer.

Je considère pour ma part ces moyens comme étant absolument inadmissibles, parce qu'ils viendraient détruire la bonne harmonie des dispositions générales, les dimensions heureuses du générateur, et, je dirai même, le principe de ma machine. En ce qui concerne ce dernier point, j'ai fait tous mes efforts pour ramasser le

plus de poids possible vers le milieu de la machine, entre ses points d'appui sur les chevilles ouvrières et sur les ressorts, afin d'éviter les mouvements de lacet et de tangage, avec les variations de charge qui en résultent pour les essieux. On comprendra facilement que l'instabilité d'un véhicule est d'autant plus prononcée que son chargement surplombe davantage ses points d'appui : c'est le cas particulier aux locomotives, quand elles joignent à une base courte un foyer en porte-à-faux.

A défaut d'une bonne machine à essieux convergents, il a bien fallu continuer de se servir des machines ordinaires. Mais, pour diminuer leur rigidité, en vue de leur circulation dans les courbes, on n'a trouvé rien de mieux que de rapprocher leurs essieux. Pour être logique, il fallait aussi rapprocher le foyer des cylindres, sous peine de créer une cause d'instabilité, que des cylindres placés à l'extérieur viennent encore favoriser. C'est ce qui est arrivé avec les machines à trois essieux couplés, que l'on a construites depuis quelques années; il faut les voir se trémousser, et de droite, et de gauche, et d'en haut, et d'en bas, agitées par les perturbations horizontales et non équilibrées des pistons et de leurs tiges, oscillant et pivotant continuellement autour de leur essieu du milieu, chargeant et déchargeant alternativement, sous les efforts obliques des bielles motrices, les essieux d'avant et d'arrière. On a cru faire un moteur acceptable pour les petites lignes, et en réalité on n'a fait que dénaturer une machine qui n'est pas bonne pour les courbes, parce qu'elle est encore trop rigide, et qui est devenue mauvaise pour les alignements droits, parce qu'elle a perdu sa stabilité. En fait, on n'a réussi qu'à créer un engin lourd, gauche, indécis, qui est une cause permanente de destruction pour la voie, sur laquelle elle exerce des pressions variables, en même temps que des frottements énergiques et des chocs latéraux qui prennent souvent l'intensité de véritables coups de bélier.

Ces machines sont robustes, et il a bien fallu leur donner une grande solidité pour leur conserver les avantages dans cette lutte continuelle du moteur contre la voie, qu'elles finiraient par élargir et défoncer, si la voie n'était elle-même en réfection permanente.

La conclusion est qu'il faut allonger la base de la machine, et s'efforcer de raccourcir autant que possible la chaudière et le châssis général : je n'ai pas fait autre chose.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer, en passant, que la nouvelle locomotive, avec ses chevilles ouvrières, ses trains mobiles, son faux essieu et ses supports, est encore, avec un essieu adhérent de plus, et à puissance égale, d'une tonne et demie plus légère que les machines à trois essieux avec lesquelles M. Massieu a établi des comparaisons consignées dans le cours de son rapport.

Le corps cylindrique n'est pas plus élevé dans le nouveau système que dans les autres. Sa stabilité est prouvée par l'expérience. — Pour en revenir au reproche adressé à l'élévation du corps cylindrique, ce reproche est mal fondé. L'axe de la chaudière est à $1^{m},89$ du rail; il se trouve placé dans des conditions identiques aux machines du chemin de ceinture, du Nord, etc., et qui sont particulières à *toutes* les locomotives ayant leur foyer placé au-dessus du dernier essieu, comme on en construit beaucoup et partout à présent. J'ai adopté cette disposition parce qu'elle rentre dans les considérations que j'ai fait valoir au sujet des porte-à-faux.

L'élévation du corps cylindrique est donc plutôt imaginaire que réelle, et l'expérience l'a prouvé au delà de tout ce que l'on pourrait dire, car il est bien reconnu que tout le poids de la machine, sauf les roues, repose sur les deux chevilles ouvrières, et que ces deux seules bases d'appui si étroites, suffisent pour la stabilité dans le sens trans-

versal. Ce fait n'est-il pas à lui seul bien digne de remarque? Il me paraît, quant à moi, avoir plus de valeur que les meilleurs arguments possibles; il est particulièrement concluant en ce qui concerne ma machine, et justifie pleinement ce que j'ai dit de sa stabilité et de l'équilibre général de tous ses mouvements.

Sur ce point, comme sur tous les autres d'ailleurs, le mémoire de M. Massieu me rend pleine justice; et si je crois devoir insister, c'est parce que des renseignements erronés et contraires, pouvant se renouveler, ont été donnés. Le sujet est, au surplus, très-intéressant et nouveau, puisqu'il s'agit d'une suspension de locomotive qui a toute la sensibilité d'une balance et n'est pourtant influencée en rien par les mouvements puissants et très-précipités de son mécanisme : c'est là tout ce que je voulais prouver. Il n'en est pas absolument de même quand la machine passe à grande vitesse sur un obstacle ou sur une voie très-fatiguée; elle prend alors des balancements dont l'amplitude est lente et prolongée, mais elle n'en conserve pas moins une grande douceur si appréciée du conducteur-mécanicien et si favorable à la voie.

Il suffit d'ailleurs de consulter le mémoire de M. Massieu pour se convaincre que ces balancements ne sont ni dangereux ni gênants. On les évitera en faisant reposer les grands longerons sur les châssis des deux trucks, au lieu de limiter leur appui sur les deux seules chevilles ouvrières. Ce moyen si simple était tout trouvé à l'avance, mais il m'a semblé que je pouvais ici sacrifier à la hardiesse et laisser place à l'étude, à l'observation. Je n'ai pas à le regretter : au contraire, les résultats de l'expérience n'en sont que plus rassurants, car qui peut plus, peut moins.

Je dois ajouter que les trains mobiles ne prennent aucun lacet, si petit qu'il soit, et se tiennent corrects et fermes en alignements droits, aussi bien qu'obéissants et dociles en courbe.

Service effectué sur la ligne d'Orléans à Châlons. — Après son service d'essai sur la ligne de Vitré à Fougères, la machine *la France* a été louée à la compagnie d'Orléans à Châlons, qui l'a soumise en ma présence, dès les premiers jours, à l'épreuve suivante :

A la sortie de la gare de Troyes-Preize, et pour traverser la ligne de l'Est, le chemin s'élève en rampe de 17 millimètres, avec une courbe de 300 mètres de rayon. Une charge de 180 tonnes a été remorquée sur cette partie difficile, et avec le même succès, à trois reprises différentes. Le démarrage avait lieu à environ 200 mètres de distance du pied de la rampe. La vitesse était faible, uniforme pourtant, et c'était tout ce que la machine pouvait faire ; mais elle le faisait, tout en patinant à certains endroits où les rails étaient mouillés.

Cette épreuve donne la mesure de la puissance de traction de la locomotive qui peut être chiffrée de la manière suivante :

Poids remorqué.	180 tonnes.
Poids de la machine.	31 —
Poids total du train.	211 tonnes.
Résistance due à la gravité. . . 211 × 17 =	3.587 kilog.
Résistance due au frottement. 211 × 5 =	1.055 —
Supplément pour la machine. 31 × 5 =	150 —
Puissance totale de traction.	4.792 kilog.

Un premier voyage de Troyes à Sens avec la même machine a aussi été fait en ma présence quelques jours après. Il s'agissait du service régulier des trains de voyageurs et marchandises dont la vitesse était de 45 kilomètres à l'heure. Le tonnage de Troyes à Sens n'était que de 60 tonnes, et l'organisation encore incomplète des prises d'eau (la ligne était à peine inaugurée à cette époque) et diverses manœuvres de gare, occasionnèrent un retard de 6 à 8 minutes. Mais, au retour, la charge étant de 106 tonnes et composée

de 12 voitures et wagons, le train arriva à Troyes en avance de 3 minutes. Quelques coussinets avaient chauffé : l'un d'eux était grippé, et cela ne surprendra personne si l'on veut se rendre compte de la petitesse des roues de la machine, de la charge du train, et de la vitesse soutenue de 45 kilomètres à l'heure sur un profil ayant des rampes de 15 millimètres par mètre.

Mais ce qu'il faut ajouter aussi, c'est que si, dans des marches forcées, les coussinets des bielles extérieures, dont les surfaces sont larges cependant, ont pu chauffer, les coussinets de la bielle de transmission intérieure, eux, n'ont *jamais chauffé, ni même tiédi.* Cela tient au mode particulier de leur fonctionnement, d'après lequel le frottement se produit sur le pourtour du coussinet et d'une manière constante et régulière.

Pourquoi la locomotive ne fonctionne plus. — A partir de ce moment (juillet 1873) je ne sais plus rien personnellement de ma machine. A mon retour de Troyes, j'appris qu'un traité de location avait été signé à mon insu entre la compagnie et les constructeurs, et que ces derniers m'en avaient exclu.

Bref, après plus de trois ans d'instance, la justice vient enfin de condamner ceux qui ont évincé l'inventeur, arrêté la machine dans son service, et l'ont empêchée depuis de fonctionner, de se produire et de s'affirmer.

Résumé. — En résumé, si j'avais à renouveler mon expérience dans des conditions semblables à celles qui se sont présentées, je ferais très-exactement ce que j'ai fait. J'emploierais de préférence la bielle triangulaire, parce que son action tant directe qu'indirecte, sur les trois coudes, assure d'une manière certaine la transmission du mouvement dans toutes les circonstances possibles. A cet égard l'expérience a été des plus concluantes; la bielle triangu-

laire a donné tout ce qu'elle pouvait donner ; elle a répondu en tout point à mon attente, à mes espérances. Sous ce rapport, sa réussite complète est d'une importance capitale au point de vue de la solution pratique du difficile problème de la traction en rampes et en courbes. La bielle triangulaire, pas plus qu'aucun organe de la machine, ne possédait aucun jeu autre que celui usité dans la pratique ordinaire de l'ajustage, et cependant la machine a franchi sans froissement tous les obstacles qui se sont présentés dans le cours des essais sur des voies ordinaires et même sur celles impraticables pour d'autres machines (*). Si des inquiétudes à ce sujet persistaient cependant, il suffirait, pour les faire cesser, de donner au coussinet situé au sommet de la bielle un jeu de 2 millimètres. Ce moyen, qui serait inacceptable s'il s'agissait d'un coussinet recevant des mouvements alternatifs, est ici d'un emploi parfaitement pratique, puisque la transmission est rotative ; c'est-à-dire que le frottement s'exerce sans choc sur tout le pourtour du coussinet. Il satisfait avec la plus grande simplicité, à tous les besoins ; il prévient toutes les objections qui pourraient subsister encore au sujet du soulèvement ou de l'affaissement des essieux coudés, par suite des accidents de la voie.

Si l'on ne perd pas de vue maintenant que la première machine d'un système nouveau doit se prêter à la démonstration comme à l'étude de ses organes principaux et à leur surveillance facile, on concevra que j'aie pu avec raison établir ma construction avec des longerons et trains mobiles en fer carré et forgé, à l'américaine, et que, pour les mêmes motifs, j'aie arrondi et surélevé les caisses à eau, afin de laisser le mécanisme à découvert et de le rendre facilement accessible à la vue, au toucher, à l'observation. — C'est ainsi que le nouveau mécanisme a pu être

(*) Voir *Annales des mines*, tome IV, page 20, 1873.

observé, même en marche, et que de cet examen facile et de tous les instants il ne reste pour l'avenir aucun doute, aucune incertitude sur son fonctionnement régulier.

Les dimensions générales de la machine sont excellentes pour un chemin à faible trafic, construit avec des rails de 25 kilog. et présentant des courbes de très-petit rayon, avec rampes de 15 à 20 millimètres. Cette machine a donné la preuve de sa circulation facile dans les courbes de 50 mètres de rayon, dans celles de 250 mètres à la vitesse de 50 kilomètres et plus à l'heure ; et sa puissance de traction s'est manifestée par une charge de 180 tonnes remorquée sur une rampe de 17 millimètres. Je ne vois donc aucune raison pour y rien changer, en laissant bien entendu de côté les défauts d'exécution, qui sont du fait du fabricant et dont M. Massieu a fait justement la part.

Rien ne s'oppose plus d'ailleurs, dans l'exécution d'autres locomotives du même système, à l'emploi de longerons et trains mobiles en tôle découpée, exclusivement usités en France et par conséquent plus conformes aux habitudes, aux usages reçus; ils sont plus solides parce qu'ils sont exempts de soudure; la confection en est plus facile aussi et plus économique. La planche VII représente, appliquée à une très-forte machine, une disposition de ce genre, qui joint à l'avantage d'un arrangement facile une grande simplicité d'exécution.

Pour le surplus, et suivant le programme que l'on aura en vue de réaliser, il suffira d'appliquer aux dimensions comme aux détails de ce système de locomotive les errements et les règles de la pratique usuelle, car le propre et le mérite de ce système, à mes yeux, c'est de réaliser ce que j'ai toujours voulu faire depuis longtemps, c'est-à-dire un véhicule possédant une stabilité comme une flexibilité parfaites, par suite de la symétrie de ses deux articulations, ayant toutes ses roues adhérentes, et surmonté ou composé, pour le reste, d'un ensemble d'organes et d'appareils ne

différant en rien, absolument en rien, de celui d'une loco motive ordinaire.

Conclusion. — Il me faut conclure, et ma conclusion la meilleure et la plus solide, je la trouve ***dans les résultats obtenus, dans le fait acquis***, dans cette déclaration de M. Massieu :

« Depuis longtemps les constructeurs de locomotives ne comportant qu'un seul moteur se sont attachés à réaliser séparément tantôt l'adhérence totale, tantôt la flexibilité, en sacrifiant, suivant les cas, l'une de ces conditions à l'autre. Parmi ceux qui ont tenté de les réaliser toutes deux à la fois, je suis porté à croire que c'est M. Rarchaert qui a le mieux et même le premier réussi pratiquement. »

NOTICE

SUR

LE TERRAIN HOUILLER DU LIMBOURG NÉERLANDAIS

Par M. BOGAERT, ingénieur des mines des Pays-Bas.

Dans la présomption que le terrain houiller connu du bassin de la Wurm, situé au nord d'Aix-la-Chapelle, s'étend davantage vers l'ouest et le sud-ouest, une société se forma à Liége, en 1840, pour l'obtention de concessions dans la région où l'on pensait devoir rencontrer le charbon. Cette société trouva inopportun de faire des travaux de recherche, avant qu'on ne fût assuré de la construction d'un chemin de fer destiné au transport du charbon et décrété en 1845, pour relier la houillère domaniale de Kerkrade à celui d'Aix-la-Chapelle à Maëstricht, chemin de fer auquel les siéges d'exploitation pourraient être rattachés. (V. Pl. VIII.)

En 1857, une société néerlandaise se constitua pour faire des recherches géologiques. Elle commença par faire des sondages et autres travaux de recherche dans la partie méridionale de la province de Limbourg, notamment près de Kuttingen où le schiste houiller vient au jour (Pl. VIII). On trouva dans tous les environs, à Terzyt, Kleinkullen, Smilberg, Bommerig, Camerig, Terpoort, etc., le schiste houiller à une assez faible profondeur, soit 30 à 50 mètres de la surface; mais il fut bientôt reconnu qu'on était là dans une partie stérile. A la nouvelle qu'une couche de charbon avait été recoupée dans les environs de Horbach (Prusse), la société néerlandaise, plus diligente que la société liégeoise, fit immédiatement un sondage à Ham (n° 1, Pl. VIII). Le schiste houiller n'y était qu'à 13^{m},95 de profon-

deur ; le 11 janvier 1858 on reconnut une couche de charbon de 0m,45 ; le 16 janvier une seconde couche de 1m,40 à 39m,05, et le 13 février une couche de 2 mètres à 75m,95 de profondeur.

A peu près en même temps la société du chemin de fer d'Aix-la-Chapelle, à laquelle le gouvernement des Pays-Bas avait concédé, en 1845, pour 99 années, l'exploitation de la houillère domaniale près de Kerkrade, fit le sondage n° 3 à Bril. Le schiste houiller fut atteint à 22 mètres de profondeur, et à 4m,50 plus bas on recoupa une couche de 1m,40.

La société néerlandaise, encouragée par les succès obtenus aux sondages nos 1 et 2, que corroborait le résultat du sondage n° 3, fait par la houillère domaniale, a continué ses recherches, en 1859, par les sondages nos 4, 5, 6, 7 et 8, dont les résultats sont indiqués au tableau ci-annexé.

En 1860, elle obtint la concession Willem, et en 1861 celle de Sophia. Les sondages nos 9 (*a* et *b*), 31, 32, 33 et 34 ont encore été faits jusqu'en 1863. Les profondeurs auxquelles ils ont été arrêtés sans avoir recoupé des couches suffisamment exploitables, sont indiquées au tableau (p. 434). Le sondage n° 9 (*a*), qui se trouve au nord de la faille Feldbis, a été abandonné. A quelque distance de là on a recommencé un autre sondage n° 9 (*b*). Les travaux y ont été arrêtés en 1863, à la profondeur de 146m,05. En admettant l'exactitude des observations faites sur l'inclinaison des couches du sondage n° 1, et plus tard des sondages nos 10 et 16, cette inclinaison serait de 12°, plongeant vers l'est, à peu près comme dans la houillère domaniale (Pl. IX, *fig.* 5). Il est encore difficile de dire exactement quelle est leur position par rapport à celles du bassin de la Wurm.

Dans l'ouvrage remarquable de M. von Dechen intitulé : *Orographisch-geognostische Uebersicht des Regierungs-Bezirkes Aachen* (1866), qui donne la description géologique de la circonscription départementale d'Aix-la-Chapelle et de

toutes les mines qu'elle contient, l'éminent auteur s'occupe des sondages du Limbourg, et indique les résultats de quelques-uns d'entre eux (page 162). Plusieurs des chiffres donnés ne coïncident guère avec ceux qui ont été officiellement constatés. Pour le sondage n° 1 de Ham, par exemple, la troisième couche de 10 pieds du Rhin (3^{m},14) de puissance se trouverait à la profondeur de 268 pieds (85^{m},35), tandis que je n'ai trouvé que 65^{m},36 de profondeur et 2^{m},30, non pour la *puissance*, mais simplement pour la distance verticale que la sonde a traversée du toit au mur de la couche. Il est à regretter que l'auteur de l'ouvrage susindiqué, publié en 1866, en parlant des sondages faits par la société néerlandaise (pages 162 et 163), paraisse avoir subi l'influence des propos calomnieux répandus alors sur cette société. Au sujet des résultats obtenus par les sondages de ladite société, il a cru devoir s'abstenir d'émettre une opinion avant que de nouvelles recherches ne soient venues corroborer ou modifier les données recueillies, dont on a contesté, dit-il, la véracité.

M. von Dechen semble présumer que les couches recoupées dans le Limbourg jusqu'en 1863, sont inférieures à celles du bassin de la Wurm. La dernière, n° 45 (Steinknip), se trouve généralement à une distance de 30^{m},57 du n° 44. Dans le bure Guillaume de la houillère domaniale, descendu à 333 mètres, soit à 100 mètres au-dessous du n° 44, la couche Steinknip n'a pas été rencontrée. (Voir Pl. IX, *fig.* 5 (*).) En supposant cette couche à la distance de 31 mètres du n° 44, comme elle se trouve ailleurs, l'affleurement de son prolongement jusqu'au mort terrain, en tenant compte du rejet des couches par la faille A, ne dépasserait pas l'église de Kerkrade, située à 1.150 mètres du bure Guillaume. En admettant le parallélisme des cou-

(*) Dans cette coupe, les numéros donnés aux couches sont les mêmes que ceux indiqués par M. von Dechen.

ches inférieures, celles du sondage n° 3 de Bril se trouveraient être à 200 mètres de distance verticale au-dessous de la couche Steinknip.

Il est à remarquer qu'on n'a pas trouvé de concordance, ni dans la distance, ni dans les roches, entre les couches récemment rencontrées et celles déjà connues du bassin de la Wurm. Autant qu'on a pu juger de la nature du charbon des sondages dont il a été question jusqu'ici, il n'est guère douteux qu'il ne peut être classé que parmi les charbons maigres. Tout cela tend à confirmer l'idée émise par M. von Dechen, que les couches recoupées par les sondages n°s 1, 2, 3, 4, 5 sont inférieures à celles de la Wurm.

Parmi les couches à l'ouest de la faille A, la couche n° 44 a seule été explorée, mais pas à plus de 90 mètres de la faille. Le terrain, entre ce point et le sondage n° 3, est donc inconnu, et il ne serait pas impossible qu'une faille ou un autre mouvement de terrain, existant entre ces deux points, fût la cause de l'abaissement des couches au-dessous de Steinknip.

En 1861, 1862 et 1863, on a encore fait les sondages n°s 31, 32, 33 et 34. Les résultats en sont indiqués dans le tableau de la page 434. Lors de l'augmentation considérable du prix des charbons, en 1872 et 1873, les recherches du terrain houiller du Limbourg néerlandais ont recommencé sur différents points. Les résultats des sondages n°s 10, 11, 19 et 20 sont, heureusement pour la société néerlandaise, venus mettre un terme aux bruits calomnieux, qui avaient été jusqu'à révoquer en doute l'existence des couches reconnues de 1858 à 1860.

On a eu la chance de pouvoir continuer le sondage n° 9 (*b*) abandonné en 1863 à la profondeur de 147^{m},56. A 154^{m},45, après avoir recoupé trois petites couches non exploitables, on a atteint une couche de 1^{m},37, divisée par un banc de schiste de 0^{m},23, soit 1^{m},14 de charbon.

Les échantillons étaient trop impurs pour qu'une analyse ait pu déterminer la qualité de ce charbon. A 176^{m},57 on a dû cesser le sondage. Comme le sol où l'on a établi les sondages n° 9 (*a* et *b*) se trouve, peut-être à quelques mètres près, de niveau avec celui des n°s 12, 33 et 34, où le schiste houiller a été atteint à 71^{m},35 — 47^{m},13 et 58^{m},77, de même qu'au n° 9 (*a* et *b*), il l'a été à 60 et à 42 mètres, on ne pourrait guère conclure de là qu'une grande faille se trouve entre ces sondages. La comparaison avec le n° 16, où le schiste n'a été atteint qu'à 103^{m},19, donne une différence plus accentuée de 40 mètres en moyenne. Par le sondage n° 28, on a constaté une irrégularité très-marquée du terrain; à 39^{m},09 on a trouvé une couche de lignite non compacte de 6^{m},91 ; à 56 mètres, une seconde de 1 mètre, et à 80 mètres une troisième de 0^{m},50. Au sud du village de Eygelshoven, la couche de 6^{m},91 se trouve à 9 mètres de la surface. Comme il est probable qu'on devrait aller à une grande profondeur pour atteindre le terrain houiller, on a abandonné ce sondage.

On ne connaît pas suffisamment la direction de la faille Feldbis sur le territoire néerlandais; il est donc difficile de dire si le sondage n° 22 se trouve au nord ou au midi de la faille. La profondeur de 118^{m},92 à laquelle on a rencontré le schiste fait cependant présumer qu'il est réellement au nord.

Le tableau ci-joint (voir p. 434) indique les résultats obtenus dans les vingt sondages faits en 1873, 1874, 1875, non compris les n°s 26 et 27, suspendus temporairement.

TABLEAU DES SONDAGES FAITS DE 1858

NUMÉRO du sondage.	LOCALITÉ.	COMMUNE.	PROFONDEUR jusqu'au schiste houiller.	1re COUCHE.	
				Profondeur en mètres.	Puissance en verticale.
			mèt.		
1	Ham.	Kerkrade.	13,95	17,67	0,46
2	Wiebach.	Idem.	36,45	41,46	0,32
3	Bril.	Idem.	22,00	26,50	1,40
4	Spechholder heide.	Idem.	44,31	73,88	2,59
5	Gracht.	Idem.	65,50	69,15	1,80
6	Vrösschenhuiske.	Simpelveld.	168,78	»	»
7	Aan den Helweg.	Bochholtz.	86,95	93,95	1,90
8	Wenselaar.	Kerkrade.	80,42	86,69	1,22
9 (a)	Beerenbosch.	Idem.	60,00	»	»
9 (b)	Idem.	Idem.	42,00	154,65	1,14
10	Kaalheide.	Idem.	53,37	58,38	1,77
11	Onder Spechholz.	Heerlen.	94,54	95,90	0,76
12	Chevremont (Hilt).	Kerkrade.	71,35	74,35	0,45
13	Welterhuiske.	Heerlen.	76,40	86,85	0,90
14	Partey.	Wittem (Mönnig).	35,68	»	»
15	Idem.	— (Volmer).	30,55	»	»
16	Près Eygelshoven.	Eygelshoven.	103,19	104,24	0,60
17	Limmelerberg.	Hulsberg.	173,84	»	»
18	Weustenraad.	Klimmen.	198,66	218,30	1,24
19	De Kook.	Heerlen.	78,75	96,95	0,52
20	Onderste Locht.	Idem.	78,41	100,15	0,84
21	Lindenhof.	Voerendaal.	145,33	236,87	2,21
22	Oude Rouwhof.	Eygelshoven.	118,92	»	»
23	Benzenrade.	Heerlen.	76,29	96,29	Couche inexploitable.
24	Ouden Bongaart.	Wynandsrade.	197,00	208,08	1,59
25	Huisken.	Heerlen.	103,87	121,82	1,40
26	Palemberg.	Schaesberg.	»	»	»
27	Konings beemd.	Heerlen.	141,00	153,90	Couche inexploitable.
28	Groenstraat.	Ubach over Worms.	»	»	»
29	Près la station de Simpelved.	Simpelveld.	130,72	»	»
30	Kolisberg.	Heerlen.	101,10	140,52	1,06
31	Naanhof (Schurenberg). .	Hoensbroek.	»	»	»
32	Langkoul.	Mheer.	100,00	»	»
33	Oud Ehrenstein.	Kerkrade.	47,13	94,52	Couche inexploitable.
34	Chevremont (Leimgarten).	Idem.	58,77	»	»
35	Schandeler.	Heerlen.	»	»	»

N. B. Les noms des communes sont seuls inscrits sur la carte de la Pl. VIII.

1870 DANS LE LIMBOURG NÉERLANDAIS.

2e COUCHE.		3e COUCHE.		4e COUCHE.		OBSERVATIONS.
Profondeur en mètres.	Puissance en verticale.	Profondeur en mètres.	Puissance en verticale.	Profondeur en mètres.	Puissance en verticale.	
39,05	1,4					
63,12	0,12	65,30	2,30			
»	»					
»	»					
»	»					
»	»					Arrêté à $174^{m},61$ sans avoir recoupé de charbon.
»	»					
»	»					
»	»					Cessé le travail.
»	»					La couche de $1^{m},14$ est partagée en deux par $0^{m},23$ de schiste.
68,95	0,59	77,85	0,52	86,80	0,80	
98,24	1.20					
81,85	0,35					
103,35	0.60					
»	»					Arrêté à $72^{m},6$ sans avoir recoupé de charbon.
»	»					Arrêté à $187^{m},11$ sans avoir recoupé de charbon.
113,95	0,69					
»	»					Cessé à $262^{m},63$ sans avoir recoupé de charbon.
»	»					
99,40	0,94					
»	»					
»	»					
»	»					Un accident a empêché de continuer au delà de $131^{m},88$.
»	»					A $96^{m},37$ on a cessé le sondage.
»	»					
»	»					
»	»					Arrêté provisoirement à $125^{m},0$, sable mouvant.
»	»					Arrêté provisoirement.
»	»					Cessé le travail à $80^{m},5$ après avoir trouvé une couche de $6^{m},91$ de lignite.
»	»					Cessé à $146^{m},65$ sans avoir rencontré de charbon.
146,59	1,40					Par la méthode danoise; difficile de constater la puissance verticale.
»	»					Cessé le travail à $161^{m},43$ dans du sable argileux verdâtre.
»	»					Incertain. Arrêté à $184^{m},5$ sans avoir recoupé de charbon.
»	»					Arrêté à $94^{m},69$.
»	»					Arrêté à $101^{m},25$; recoupé quelques couches insignifiantes.
»	»					Arrêté à $106^{m},43$ dans du sable verdâtre.

Une analyse officielle a été faite du charbon de la couche rencontrée à 218 mètres de profondeur, dans le sondage n° 18 ; on a constaté que ce charbon peut être classé parmi les bons charbons demi-gras. Celui de la couche du sondage n° 28 serait, m'a-t-on assuré, de même qualité. S'il en était ainsi des n°s 24 et 27, la présence des couches supérieures à celles constatées au sud de Heerlen compliquerait davantage la question du rapport qui doit exister entre les couches du Limbourg et celles de la Wurm. Si plus tard il se confirmait que la partie située au nord et à l'ouest de Heerlen contient des couches de charbon gras ou demi-gras, similaires de celles qui existent au nord de Feldbis, en Prusse, cette faille devrait avoir changé de direction vers le sud-ouest. Il se pourrait aussi qu'un mouvement de terrain eût constitué une seconde faille ou dérangement, formant un angle obtus avec le Feldbis.

Aussi exactement que les données sur la hauteur de quelques points au-dessus du niveau de la mer à Amsterdam l'ont permis, les *fig.* 1, 2 et 4, Pl. IX, représentent la coupe suivant les lignes AB, AC et AD, sur lesquelles on a projeté les sondages les plus rapprochés, et indiquent approximativement les ondulations du schiste houiller. Le point de départ A est le sondage n° 17. On y a traversé 173^{m},84 de la craie tufeau de Maëstricht, sous laquelle se trouve immédiatement le schiste houiller qu'on a traversé jusqu'à 262^{m},63, soit 88^{m},79 de schiste, sans avoir trouvé de charbon. A cette profondeur on a cessé le travail.

A en juger par ces coupes, on peut admettre que le schiste houiller, entre Kerkrade et Visé, devient stérile vers la commune de Wittem; productif entre Kerkrade, Heerlen et dans un rayon d'à peu près 8 kilomètres autour de Heerlen, le schiste s'abaissant alors vers le nord, l'ouest et le sud-ouest, contient probablement des couches exploitables sur une surface de 6 kilomètres carrés en moyenne, dont la partie nord est de qualité plus grasse que la partie méri-

dionale et devient stérile à l'ouest de Klimmen. Il est probable aussi, comme il est déjà dit dans l'ouvrage du Docteur W. C. H. Staring (*De bodem van Nederland.* Haarlem, 1859), que la partie supérieure du schiste houiller entre les sondages n° 5 et n° 7, a été emportée et remplacée par les sables aacheniens. (Voir sondages n°s 6 et 29, *fig.* 3, Pl. IX.)

Il est à regretter que, sauf au n° 16, on n'ait pris, dans aucun autre sondage, un *témoin* pour connaître l'inclinaison, et par conséquent la puissance réelle des couches; mieux eût encore valu prendre des témoins orientés, de manière à connaître aussi la direction des couches. Sans ces données, il est impossible de déterminer l'allure ou le mouvement des couches, et par conséquent de déterminer les relations du bassin de la Wurm avec le bassin houiller du Limbourg néerlandais. C'est, au reste, une question qui ne sera résolue qu'au fur et à mesure que l'on fera des travaux de recherches et d'exploitation.

Maëstricht, juin 1876.

Nota. — Il a paru intéressant de faire figurer sur la Pl. IX, *fig.* 6, une petite carte extraite d'un rapport rédigé sur la même question par M. G. Lambert, professeur à l'Université de Louvain. Cette carte indique la relation du bassin nouvellement découvert avec ceux de la Ruhr et la Belgique dont il semble n'être qu'un prolongement; on y a figuré par des parties hachées en clair le bassin dont il vient d'être question, ainsi que le prolongement nouvellement reconnu de la partie nord du bassin westphalien.

EXTRAITS DE GÉOLOGIE

POUR

LES ANNÉES 1875 ET 1876

Par MM. DELESSE et DE LAPPARENT.

Nous nous proposons de résumer les travaux de géologie publiés pendant les années 1875 et 1876.

Les ouvrages français ne seront généralement mentionnés que d'une manière sommaire, notre but étant surtout d'appeler l'attention sur les progrès de la géologie à l'étranger.

La classification qui a été suivie dans cette Revue est à peu près celle du *Manuel de géologie* de M. J. D. Dana, et, comme les années précédentes, elle comprendra cinq parties:

I. PRÉLIMINAIRES ET GÉOLOGIE PHYSIOGRAPHIQUE.
   Ouvrages de géologie. — Généralités sur le globe.

II. GÉOLOGIE LITHOLOGIQUE.
   Roches et leur gisement. — Roches proprement dites et roches métallifères.

III. GÉOLOGIE HISTORIQUE.
   Terrains au point de vue stratigraphique et paléontologique. — Lois de la distribution des espèces végétales et animales qui vivaient pendant la formation de ces terrains.

IV. GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.
   Descriptions et Cartes géologiques. — Géologie agronomique.

V. GÉOLOGIE DYNAMIQUE.
   Forces qui ont produit des changements géologiques; leur mode d'action.

M. Delesse a spécialement traité la deuxième partie, comprenant les roches ou la géologie lithologique; il s'est occupé égale-

ment de la géologie physiographique et agronomique, ainsi que des modifications des roches.

M. de Lapparent s'est chargé de la troisième partie, comprenant les terrains ou la géologie historique; il s'est chargé en outre de la stratigraphie systématique.

Quant au reste du travail, il a été fait en commun.

PREMIÈRE PARTIE.

OUVRAGES GÉNÉRAUX.

Un ouvrage publié par M. G. Neumayr (1), avec le concours de divers savants, renferme des conseils à l'usage des voyageurs; c'est un guide indiquant, pour toutes les branches de la science, les points sur lesquels ils doivent porter leur attention; ils y trouveront aussi des indications relatives à la formation des collections d'étude. Dans le chapitre relatif à la géologie, M. de Richthofen résume l'ensemble des connaissances qu'il doit à sa grande expérience des voyages. Des guides analogues au précédent, mais spécialement destinés aux géologues, avaient déjà été publiés par M. Ami Boué, par M. Élie de Beaumont et plus récemment par un autre grand voyageur, M. F. de Hochstetter (2).

Mentionnons encore un autre guide pour les travaux du géologue sur le terrain qui est dû à M. W. Henry Penning (3); on y trouvera un chapitre particulier qui est relatif à la paléontologie et renferme une liste des fossiles caractéristiques de tous les terrains, d'après M. A. J. Jukes-Browne.

— M. Horace B. Woodward (4) a résumé d'une manière concise les principaux faits connus sur la géologie de l'Angleterre et du pays de Galles. Son manuel donne pour l'ensemble des terrains anglais la classification la plus nouvelle.

— Parmi les ouvrages récents, nous indiquerons aussi les *Éléments de pétrographie* de M. A. von Lasaulx (5) qui relatent

---

(1) *Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen*, etc.; Berlin, 1875.
(2) *Allgemeine Erdkunde*; Prague, 1872.
(3) *Field geology*, 1876.
(4) *The geology of England and Wales*. 1876.
(5) *Elemente der Petrographie*. Bonn.

les résultats des nombreuses recherches microscopiques faites sur les roches, dans ces derniers temps, par MM. H. Clifton Sorby, Zirkel, Rosenbusch et par divers auteurs.

— M. Gosselet (1) a publié un *cours élémentaire de géologie* à l'usage de l'enseignement secondaire. Après avoir décrit les formations actuelles d'origine aqueuse ou ignée, ainsi que les mouvements du sol, l'auteur étudie successivement ce qu'il appelle les *temps cosmiques*, les *temps azoïques*, les *temps paléontoniques*, enfin les *temps contemporains*. La rapide énumération des terrains de chaque époque est précédée d'un aperçu de leurs faunes, avec des figures dont beaucoup sont nouvelles. Une petite carte géologique de la France et une planche de coupes coloriées sont jointes à cet ouvrage.

— Enfin M. Bernhard von Cotta (2) a fait paraître sous le titre de *Répertoire géologique* la première partie d'une histoire de la géologie. Les nombreux ouvrages publiés sur cette science y sont énumérés, dans l'ordre chronologique, depuis Agricola et Bernard de Palissy, au XVI[e] siècle, jusqu'à la fin de l'année 1876. Une courte caractéristique est donnée pour les ouvrages les plus importants, tandis qu'aucune mention n'est faite de ceux qui sont élémentaires ou de ceux qui traitent spécialement des sciences se rattachant à la géologie, telles que la minéralogie, la paléontologie et la chimie. Même avec ces restrictions, il en reste encore un nombre extrêmement considérable, et l'auteur fait observer, du reste, qu'il n'a pas cherché à donner une liste absolument complète de tous les ouvrages de géologie.

M. Bernhard von Cotta mentionne parmi les publications analogues, qui lui ont été le plus utiles, celle de Keferstein (3) et la série complète du *Jahrbuch* qui est due à K. C. von Leonhard et Bronn, ainsi qu'à G. Leonhard et Geinitz. Le *Répertoire géologique* de M. Bernhard von Cotta se termine par une triple table des auteurs, des localités, des matières, qui permet de faire très-facilement des recherches dans le domaine si vaste de la géologie.

GÉOLOGIE PHYSIOGRAPHIQUE.

Hauteur moyenne de l'Europe.

L'étude plus complète de l'orographie de l'Europe, l'exécution de

(1) *Cours élémentaire de géologie*. Paris, Eug. Belin, 1876.
(2) *Geologisches Repertorium*. Leipzig.
(3) *Geschichte und Literatur der Geognosie*.

canaux, de routes et de nombreux chemins de fer, permettent maintenant de connaître son relief beaucoup mieux qu'à l'époque à laquelle de Humboldt a publié ses travaux. Voici, d'après M. le Dr G. Leipoldt (1), un tableau qui donne pour l'Europe la hauteur moyenne de ses diverses régions au-dessus du niveau de la mer, ainsi que la moyenne de ces hauteurs pour le continent tout entier. Les numéros marqués dans la dernière colonne à droite indiquent l'ordre dans lequel il faudrait placer les régions, si on les ordonnait d'après leur hauteur moyenne. Dans le tableau, elles sont d'ailleurs classées d'après la hauteur que l'on obtiendrait, en répartissant sur la surface entière de l'Europe toutes les portions de terrain qui se trouvent au-dessus du niveau de la mer, dans la région considérée.

RÉGIONS.	HAUTEUR moyenne en mètres.	ÉLÉVATION produite sur l'Europe en mètres.	RÉGIONS ordonnées d'après leur hauteur moyenne.
	mètres.	mètres.	
1. Russie	167.09	96,46	11
2. Presqu'île ibérique	700,60	43,24	2
3. Scandinavie	428,10	33,22	6
4. Autriche	517,87	32.87	4
5. Presqu'île des Balkans	579,50	26,68	3
6. France	393,84	21,19	7
7. Presqu'île des Apennins	517,17	15,62	5
8. Allemagne	213,66	11,91	10
9. Grande-Bretagne	217,70	7,06	9
10. Suisse	1.299.91	5,40	1
11. Danemark, y compris l'Islande	352,18	5,11	13 (**)
12. Roumanie	282,28	3,48	8
13. Belgique	163,36	0,49	12
14. Hollande (*)	48,83	0,10	14 (***)
Pour l'Europe entière	296,838		

(*) Excepté les parties situées au-dessous du niveau de la mer.
(**) Sans l'Islande, la hauteur moyenne du Danemark est seulement de 35m,20.
(***) Sans le Luxembourg et les parties situées au-dessous du niveau de la mer, la hauteur moyenne de la Hollande est de 9m,61.

La hauteur moyenne de l'Europe, qui était estimée par de Humboldt à 205 mètres, atteint, d'après ce travail, 296m,838. On voit qu'elle est très-voisine de 300 mètres, hauteur moyenne qui avait été admise par de Humboldt pour l'ensemble des continents; or, l'Europe étant certainement la partie du monde qui est la moins élevée, on doit admettre que la hauteur moyenne des continents est supérieure à 300 mètres.

Géographie zoologique des époques anciennes et actuelle. Comme M. Alphonse Milne-Edwards, M. Alfred Russel

(1) *Mittheil. der K. K. geographischen Gesell. in Wien.* Band XVIII, n° 3, 127.

Wallace (1) s'est occupé d'une manière spéciale de la distribution géographique des animaux sur le globe, pendant toute la série des âges. Ses études ont porté particulièrement sur les vertébrés et notamment sur les oiseaux. Recherchant d'abord quelle était leur distribution sur le globe pendant les époques quaternaire, tertiaire et même pendant les époques antérieures, il décrit leur répartition actuelle et, de même que M. Sclater, il est conduit, par des raisons zoologiques, à diviser le globe en 6 régions:

Palœarctique.	Europe, Asie tempérée, nord de l'Afrique jusqu'aux montagnes de l'Atlas.
Éthiopienne.	Afrique au sud de l'Atlas, Madagascar et Mascareignes, Arabie méridionale.
Orientale.	Inde au sud de l'Himalaya, Chine méridionale, Bornéo et Java.
Australienne.	Australie, Célèbes et Lombock, Nouvelle-Zélande, Polynésie.
Néarctique.	Groënland, Amérique septentrionale jusqu'au nord du Mexique.
Néo-tropicale.	Amérique méridionale, Antilles et sud du Mexique.

Un même continent, comme l'Asie ou l'Afrique, peut très-bien comprendre des régions zoologiques différentes; d'autre part, de très-grandes terres, comme le Groënland et Madagascar, paraissent avoir été réunies autrefois aux continents voisins, bien qu'elles en soient séparées maintenant par des mers très-profondes.

Les mollusques ayant une importance toute spéciale en géologie, leur distribution géographique actuelle offre surtout un grand intérêt; comme le remarque M. A. R. Wallace, les mollusques marins occupent habituellement une aire extrêmement étendue: 48 de leurs familles environ se sont propagées sur les deux hémisphères, dans les mers froides aussi bien que dans les mers chaudes. Il n'y a guère plus de 15 familles de mollusques qui appartiennent aux mers chaudes du globe et il n'y en a que 2 ou 3 qui soient restreintes aux mers tropicales: 2 petites familles seulement sont confinées dans les Océans Pacifique et Indien.

Si l'on compare la distribution des mollusques à celle des poissons marins, on remarque que cette dernière est beaucoup moins uniforme; car 30 familles environ ont une distribution limitée, tandis que 50 se rencontrent partout. Plusieurs de ces familles de poissons sont confinées dans les mers du Nord, ou bien dans l'Atlantique et dans la Méditerranée; le plus grand nombre sont spéciales à l'Océan Indien et au Pacifique occidental.

(1) *The geographical distribution of animals*, 1876.

La distribution des mollusques dans le temps peut se résumer dans un tableau, que nous donnons ici d'après MM. Woodward et A. R. Wallace. On y voit clairement l'ordre de succession des mollusques dans toute la série des terrains. Les familles les plus anciennes qui ont résisté aux changements produits dans les conditions extérieures sont, comme on pouvait le prévoir, réparties sur des surfaces énormes.

DISTRIBUTION des familles de mollusques dans le temps, arrangée d'après l'ordre de leur apparition et de leur disparition.	SILURIEN INFÉRIEUR.	SILURIEN SUPÉRIEUR.	DÉVONIEN.	CARBONIFÈRE.	PERMIEN.	TRIAS.	OOLITHE INFÉRIEURE.	OOLITHE SUPÉRIEURE.	CRÉTACÉ INFÉRIEUR.	CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.	ÉOCÈNE.	MIOCÈNE.	PLIOCÈNE.	ÉPOQUE ACTUELLE.
Productidæ	+	+	+	+	+									
Orthoceratidæ	+	+	+	+	+	+								
Spiriferidæ, Orthidæ	+	+	+	+	+	+	+							
Atlantidæ, Hyaleidæ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pyramidellidæ, Turbinidæ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Iantidæ, Chitonidæ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Lingulidæ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aviculidæ, Mytilidæ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Arcadæ, Trigoniadæ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cyprinidæ, Anatinidæ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Nautilidæ		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Rhynchonellidæ, Craniadæ, Discinidæ		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cardiadæ, Lucinidæ		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ammonitidæ			+	+	+	+	+	+	+	+				
Naticidæ, Calyptræidæ			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dentalidæ, Terebratulidæ			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Helicidæ				+							+	+	+	+
Fissurellidæ, Tornatellidæ				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pectinidæ, Solenidæ				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Cerithiadæ, Littorinidæ, Astartidæ						+	+	+	+	+	+	+	+	+
Belemnitidæ							+	+	+	+				
Theuthidæ, Sepiadæ							+	+	+	+	+	+	+	+
Neritidæ, Patellidæ, Bullidæ							+	+	+	+	+	+	+	+
Gastrochænidæ, Pholadidæ							+	+	+	+	+	+	+	+
Lymnæidæ, Melaniadæ								+	+	+	+	+	+	+
Chamidæ, Myadæ								+	+	+	+	+	+	+
Cycladidæ, Veneridæ, Tellinidæ								+	+	+	+	+	+	+
Hippuritidæ									+	+				
Unionidæ									+	+	+	+	+	+
Strombidæ, Buccinidæ										+	+	+	+	+
Conidæ, Volutidæ										+	+	+	+	+
Auriculidæ, Cyclostomidæ										+	+	+	+	+
Mactridæ										+	+	+	+	+
Limacidæ											+	+	+	+
Argonautidæ													+	+
Tridacnidæ													+	+

Continuité de la série sédimentaire.

Dans de récentes publications, M. Jules Marcou (1) et M. Delafontaine (2) ont appelé l'attention sur les couches qui, dans l'Amérique du Nord, constituent le groupe dit des Lignites ou du Fort-Union, au sujet des difficultés que l'on éprouve lorsqu'on veut tracer des limites nettes entre deux terrains successifs.

On sait qu'en Europe, si les limites des terrains deviennent de moins en moins tranchées à mesure que les connaissances géologiques vont en augmentant, celle qui sépare l'époque crétacée de l'époque tertiaire est, du moins, d'une grande netteté. Or, les couches de l'Amérique du Nord, citées plus haut, offrent précisément un passage graduel de l'époque crétacée à l'époque tertiaire. Aussi les appelle-t-on quelquefois couches de transition, couches du crétacéo-tertiaire. On y trouve, en effet, suivant l'expression de M. Cope (3), une flore tertiaire associée à une faune crétacée. De plus, dans ces dépôts, en allant de bas en haut, on passe, par des transitions insensibles, d'une faune de mollusques crétacés nettement marine à une faune de mollusques d'eau saumâtre, puis d'eau douce. Il devient véritablement impossible de tracer une ligne de démarcation entre le crétacé et le tertiaire.

M. Jules Marcou conclut de ces faits qu'il faut attribuer plus d'importance en géologie aux caractères stratigraphiques qu'aux caractères paléontologiques et que les paléontologistes ont souvent exagéré beaucoup, en supposant une absence complète de provinces zoologiques et botaniques pendant les temps géologiques. C'est surtout en comparant les terrains sur divers points du globe qu'on peut apprécier combien leur délimitation offre de difficultés, et, dans certaines régions, ils présentent même quelquefois des passages insensibles.

Augmentation de la température dans l'intérieur du globe.

ALGÉRIE. — Les nombreux sondages faits, en Algérie, ont permis à M. Ludovic Ville (4) de réunir beaucoup d'observations sur l'accroissement de la température avec la profondeur (5).

Dans le grand sondage à l'ouest du Sebkha d'Oran, on a trouvé qu'à la profondeur de 578 mètres, la température s'élevait à 39°,70,

(1) *Explication d'une seconde édition de la carte géologique de la terre*, 1875.
(2) *Revue suisse*, 1876.
(3) *Review of the vertebrata of the cretaceous period found west of the Mississipi*. Washington, 1874.
(4) *Notice sur les puits artésiens des provinces d'Alger, d'Oran et de Constantine*. 1876.
(5) *Revue de géologie*, XIII, 6.

en sorte que la moyenne de l'accroissement de température serait de 1° pour 7m,56. Il est à remarquer que les eaux souterraines fournies par ce sondage sont très-salées, de façon qu'il pourrait y avoir des sources thermales dans le voisinage du trou de sonde.

Dans le Sahara, M. Ludovic Ville a constaté que la température n'augmente pas d'une manière régulière avec la profondeur; en moyenne, on a une température de 24° à la profondeur de 60 mètres.

Dans le Hodna, la température est seulement de 22°,2 à la profondeur de 93m,8; cette diminution dans la température souterraine doit être attribuée à l'augmentation de la latitude et en outre à ce que l'altitude de la région est supérieure à celle du Sahara. Dans le Hodna l'accroissement de 1° a été obtenu pour des profondeurs variant de 5 mètres à 66m,47, ce qui ferait en moyenne, d'après M. Ludovic Ville, un accroissement de 1° pour une augmentation de profondeur de 23 mètres.

Dans le Sahara, vers la latitude de l'Oued Rhir, la profondeur, correspondant à l'augmentation de température de 1°, se réduit à 17m,55; par conséquent elle tend à diminuer vers le Sud, c'est-à-dire avec la latitude.

Températures sous-marines.

M. Joseph Prestwich (1), d'après les observations faites depuis 1749, a étudié la distribution de la chaleur dans les régions sous-marines. Voici quelles sont les principales conclusions qu'il a déduites de l'ensemble des observations faites jusqu'à ce jour.

Une couche d'eau de + 1°,67 s'étend au fond des mers, de l'Océan Arctique à l'Océan Antarctique. La température basse et uniforme de cette couche, indépendante des lignes isothermes de la surface, montre qu'elle n'est pas due à des circonstances locales; elle a visiblement pour cause les influences polaires.

Considérons d'abord l'Atlantique. Dans l'Atlantique Nord, les deux canaux à travers lesquels les couches marines profondes des eaux froides du pôle se dirigent vers le Sud, sont la baie de Baffin et la mer qui avoisine la côte Est du Groënland. Au contraire, les couches peu profondes, à l'Ouest du Spitzberg et entre l'Islande et la Norwége, sont occupées par des eaux chaudes allant des régions équatoriales vers le pôle. Dans les régions équatoriales de l'Atlantique les parties profondes sont occupées par les eaux polaires

(1) *Philosophical transactions of the royal Society*, vol. 165. p. 2. (Extrait par M. Bonnier.)

venant à la fois du Nord et du Sud. Ces deux masses se rencontrent et surgissent à la surface, comme l'indique le relèvement des lignes isothermes. La majeure partie des eaux qui sont ainsi redevenues superficielles s'écoule lentement de la zone équatoriale vers les pôles par les parties peu profondes de l'Atlantique.

Dans le fond de l'Océan Pacifique, il existe aussi une couche d'eau marquant seulement + 1°,67 de température, qui s'étend de l'Océan Atlantique à la mer de Behring, mais sans s'élever à l'Équateur, comme dans l'Atlantique. Dans le Pacifique Nord, la température sous-marine est plus basse que dans l'Atlantique Nord, aux mêmes latitudes. Or, comme les eaux froides du Pacifique Nord ne peuvent prendre leur origine dans les eaux du pôle Nord, attendu que le détroit de Behring ne leur offre pour ainsi dire aucun passage, M. Prestwich en conclut que les eaux du pôle Sud traversent toute la longueur du Pacifique et viennent se relever contre les côtes qui limitent au Nord cet Océan.

Dans l'Océan Austral et dans l'Océan Indien, il existe un mouvement des eaux analogue. Les couches froides venant des mers polaires Antarctiques surgissent à l'approche des côtes de l'Asie.

Enfin, M. Prestwich fait remarquer que quelques-uns des grands courants de surface qui prennent leur origine ou acquièrent une plus grande intensité dans les régions équatoriales ou polaires sont intimement liés à ce double transport des eaux polaires par des couches sous-marines et des eaux tropicales par les couches superficielles; d'un autre côté, le cours définitif de ces courants peut encore être déterminé par l'action des vents prédominants et aussi par le mouvement de rotation de la terre.

Quant à la température dans les parties profondes des mers intérieures, elle est réglée par des causes locales et elle tend à se rapprocher de la température moyenne de l'hiver dans la région.

Il convient d'observer que cet exposé fait par M. Prestwich, de la distribution de la température dans les mers, est en partie basé sur les recherches qui ont été faites sur ce sujet dans ces derniers temps, et notamment sur les travaux de MM. J. D. Dana, Carpenter et Wyville-Thomson.

DEUXIÈME PARTIE.

LITHOLOGIE.

La lithologie ou l'étude des roches est chaque année l'objet d'un grand nombre de travaux qui intéressent toutes les personnes s'occupant de géologie. Nous allons présenter un résumé sommaire de ces travaux, en nous attachant plus particulièrement à ceux qui fournissent des données nouvelles sur la composition minéralogique et chimique des roches ou sur leur structure microscopique.

Lorsqu'on voudra comparer les analyses nouvelles avec celles qui ont été faites précédemment, il conviendra d'ailleurs de consulter quelques ouvrages spéciaux, notamment ceux de MM. Justus Roth, Kenngott, Rammelsberg, G. Bischof, Tschermak, ainsi que le *Neues Jahrbuch*, le *Jahresbericht der Chemie* et les 13 volumes déjà publiés de la *Revue de géologie*.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES ROCHES.

Structure prismatique.

M. R. Mallet (1) a continué ses recherches sur les causes de la structure des grandes coulées de basalte et particulièrement de la formation des surfaces courbes qui divisent les prismes.

L'auteur a remarqué que des laves sortant du Vésuve perdent assez leur viscosité pour être rompues par le choc du marteau vers 500°, et que vers 300° elles deviennent remarquablement cassantes. C'est entre ces deux limites de température qu'une masse basaltique en voie de refroidissement doit se fendre à la surface. De ses expériences antérieures sur des scories ayant à peu près la composition du basalte, il conclut qu'en se refroidissant depuis 300° jusqu'à la température ordinaire, celui-ci doit se contracter d'environ 2 millimètres par mètre, ce qui est évidemment

---

(1) *Philosophical Magazine*, 1875 (extrait par M. Potier, ingénieur des mines). — Voir aussi *Revue de géologie*, XIII, 11, et IV, 40.

une contraction plus forte que celle que le basalte peut supporter sans se fendre.

Tout en éliminant des causes étrangères au refroidissement, l'auteur fait ressortir l'analogie que présente la structure du basalte avec celle des grandes masses solides obtenues par fusion, telles que les gros projectiles creux de forme ogivale; il a constaté que les axes principaux des cristaux qui constituent la masse sont orthogonaux aux surfaces extérieures et reproduisent dans leur disposition celle des axes des prismes de basalte.

On fera observer à cet égard : 1° que les faces de clivage ou de rupture facile que présentent ces masses métalliques ne sont pas nécessairement des faces de cristaux dans le sens propre du mot; 2° que l'explication proposée par M. Mallet, à savoir : que cette disposition est en rapport avec l'inégale dilatabilité des corps cristallisés suivant des directions différentes est d'autant moins applicable qu'il s'agit ici de cristaux appartenant au système cubique, dans lesquels l'inégalité des dilatations n'existe pas. Il est vraisemblable que la cause de cette disposition est toute mécanique et non cristallogénique. Il est d'ailleurs à remarquer que les roches volcaniques prismatiques présentent des inégalités dans leur densité ainsi que dans leur composition chimique et minéralogique, lorsqu'on compare le centre du prisme avec ses bords (1).

D'autre part, M. Poulett Scrope (2) a contesté l'explication que M. Mallet a donnée de la formation des joints transversaux que présentent les colonnes de basalte. Il rappelle que, dans la Chaussée des Géants, on observe des prismes juxtaposés dont les faces terminales sont indifféremment convexes ou concaves et dont on peut détacher des éléments ayant à peu près la forme de lentilles biconcaves, tandis que le refroidissement n'a dû se produire que d'un côté à la fois.

Résistance des roches à l'écrasement.

M. P. Michelot (3), ingénieur en chef des ponts et chaussées, a résumé les résultats généraux de plus de dix mille expériences faites, au moyen de sa machine à levier, avec le concours de MM. Doëns, Constant Pouillaude et E. Dège, sur la résistance à l'écrasement des pierres de taille employées en France;

---

(1) Delesse, *Comptes rendus*, XLVII, 448. — *Études sur le métamorphisme*.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 412.
(3) Exposition universelle de 1873 à Vienne : *Notice sur l'exposition du ministère des travaux publics de France*, p. 401-432. — *Annales des ponts et chaussées*, (1868, 1er semestre; 1868, 2e semestre; 1870, 2e semestre).

de plus, il a cherché à établir les relations qui existent entre cette résistance et le poids métrique des différents genres de matériaux.

Les marbres et autres calcaires susceptibles de poli sont en général les plus lourds et les plus résistants. Ceux de ces calcaires qui sont très-compactes et dont le grain est imperceptible ou finement cristallin, tels que les marbres de la Belgique, du Nord et du Pas-de-Calais, les choins de l'Ain et de la Savoie, les pierres froides de la Provence pèsent rarement moins de 2.700 kilog. par mètre cube et portent souvent plus de 900 kilog. par centimètre carré au moment de l'écrasement total.

Les calcaires compactes à entroques ou suboolithiques de la Bourgogne et de la Franche-Comté, les beaux calcaires lacustres de Château-Landon et de Gannat pèsent de 2.600 à 2.700 kilog. et portent de 700 à 900 kilog.

Les marbres statuaires et décoratifs, sublamellaires, saccharoïdes ou bréchiformes, sont les moins résistants; ceux des Pyrénées, pour un poids de 2.600 à 2.800 kilog., ne portent que 500 à 700 kilog.

Les liais, calcaires homogènes et finement grenus, propres au dallage, tels que ceux de Lézinnes près Tonnerre, de Maninghem près Boulogne-sur-Mer, de Chandolin (Sarthe), de l'Échaillon près Grenoble, pèsent de 2.400 à 2.600 kilog. et portent de 600 à 800 kilog.

Les roches du calcaire grossier du bassin de Paris, les roches grises bathoniennes de la Bourgogne, les pierres dures de la Lorraine, du Poitou et du Bordelais, les calcaires lacustres de la Beauce, pèsent de 2.200 à 2.500 kilog. et portent de 350 à 600 kilog.

Les bancs francs de la Seine, d'Euville et de Lérouville près Commercy, de Ravières (Yonne) et de Chauvigny (Vienne), les mollasses fermes du Midi pèsent de 2.200 à 2.500 kilog. et portent de 220 à 350 kilog.

Les pierres demi-dures et bancs royals, tels que ceux de Tonnerre, de Chevillon (Haute-Marne), de Savonnières (Meuse), d'Allemagne près Caen et des Lourdines près Poitiers, pèsent de 1.800 à 2.200 kilog. et portent de 100 à 220 kilog.

Les bancs royals tendres, de Conflans, Marly-la-Ville et Méry (Seine-et-Oise), de Saint-Maximin et Saint-Waast (Oise), de Crouy, d'Autresches et la Ferté-Milon (Aisne), pèsent de 1.600 à 1.800 kil. et portent de 70 à 120 kilog.

Les pierres tendres proprement dites du bassin de Paris, vergelés, lambourdes, pierres grasses et pierres fines de la vallée de l'Oise, de Billy près Soissons, de Colligis près Laon, de Nucourt

près Magny, pèsent en général de 1.400 à 1.700 kilog. et portent de 40 à 90 kilog.

Les tuffeaux de la Touraine et des départements voisins pèsent seulement de 1.250 à 1.400 kilog. et portent de 30 à 80 kilog.

La pierre blanche à sphérulites d'Angoulême, de la Charente et de la Dordogne, pèse de 1.800 à 2.000 kilog. et porte de 65 à 110 kilog.

Les calcaires tertiaires de l'Aquitaine présentent d'aussi grandes variations que ceux du bassin de Paris; les bancs tendres descendent jusqu'au poids de 1.400 kilog. et jusqu'à la force portante de 20 kilog.

Enfin, parmi les mollasses du bassin du Rhône et de l'Hérault, les plus serrées figurent en tête des pierres demi-dures, mais celles de Saint-Paul-Trois-Châteaux et de Fontvieille près d'Arles, qui sont les plus employées, restent comprises entre 1.600 à 1.800 kilog. pour le poids métrique et entre 60 et 90 kilog. pour la force portante.

Les grès présentent de moins nombreuses variétés que les calcaires; les plus exploités sont ceux des Vosges, qui appartiennent en majorité à l'étage inférieur du trias (grès bigarré) et sont en général à grains fins; les grès vosgiens et grès rouges sont plus grossiers. Le poids des grès durs varie de 2.100 à 2.500 kilog., et leur résistance de 350 à 780 kilog.; les grès demi-durs et *tendres* pèsent de 1.900 à 2.100 kilog. et portent de 80 à 300 kilog.

Les roches granitiques soumises à l'expérience provenaient en très-grande partie de la Bretagne, du Cotentin, des Vosges et du Plateau central de la France. Leur poids varie dans les limites restreintes de 2.600 à 2.800 kilog. et ne fournit aucune indication sur leur résistance à l'écrasement, qui paraît également indépendante de la nature et de la proportion des éléments constitutifs de la roche. La résistance à l'écrasement est au contraire en rapport avec la dimension de ces éléments, surtout avec leur état de parfaite conservation ou de plus ou moins grande altération.

Parmi les granites-marbres susceptibles de poli et difficiles à tailler, les leptynites et les granites communs, à grains moyens et réguliers, portent de 1.000 à 1.500 kilog. Les roches à gros éléments, telles que les granites porphyroïdes de Brest et de Cherbourg et les syénites des Vosges, portent de 700 à 1.000 kilog. De même, parmi les granites-pierres plus ou moins altérés et dont la taille est assez facile, ceux du Dorat (Haute-Vienne), d'Ussel (Corrèze) et autres, à grains fins, portent en général de 600 à 800 kilog.; la résistance de ceux qui ne présentent qu'un commencement

d'altération, suffisant pour qu'ils prennent mal le poli, s'élève jusqu'à 900 kilog.

Les granites à grands cristaux dans lesquels le feldspath est en partie décomposé, comme à Pensol (Haute-Vienne) et à Llagonne (Pyrénées-Orientales), ne portent plus que 400 à 600 kilog.

Pour les roches volcaniques, il existe une relation évidente entre le poids et la résistance. Les trachytes du Cantal et de la Haute-Loire pèsent de 2.180 à 2.600 kilog. et portent de 360 à 950 kilog. Les laves, comme celles de Volvic et d'Agde, pèsent de 2.000 à 2.180 kilog. et portent de 300 à 500 kilog.

Enfin, M. Michelot a encore éprouvé quelques porphyres et autres roches assez rares, mais présentant des résistances exceptionnelles : le basalte d'Estelle (Puy-de-Dôme) porte 1.880 kilog., le jaspe-brèche de Saint-Gervais (Haute-Savoie) 1.840 kilog., le schiste ardoisier de Villepail (Mayenne) 1.400 kilog., et le porphyre vert de Ternuay (Haute-Saône) 1.360 kilog.

Résistance des roches imbibées à l'écrasement.

Les carrières souterraines de craie des environs de Paris, qu'on exploite soit pour la fabrication du blanc d'Espagne, soit pour celle de la chaux, en laissant des piliers de soutien régulièrement espacés, sont exposées à s'écrouler par des effondrements subits que nul indice bien significatif ne fait prévoir. La dernière ruine est arrivée aux Moulineaux, commune d'Issy, dans la nuit du 30 au 31 mars 1876, après une inondation partielle des travaux causée par une grande crue de la Seine; elle s'est étendue à l'intérieur sur un hectare et demi environ, et aurait certainement fait de nombreuses victimes si elle était survenue durant le jour.

A la suite de cet accident, M. Tournaire, ingénieur en chef des mines, a fait, avec le concours de M. Michelot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, des expériences sur la résistance à l'écrasement de la craie à divers états de dessiccation ou d'humidité. Les échantillons servant à faire ces expériences étaient des cubes d'un décimètre de côté. Les uns étaient complétement desséchés dans une étuve où la température dépassait de beaucoup 100°, sans atteindre jamais le rouge; d'autres étaient complétement humectés; d'autres, enfin, laissés plus ou moins longtemps à l'air, se trouvaient dans des conditions intermédiaires. Des pesées comparatives ont permis d'apprécier la quantité d'eau contenue.

Le tableau suivant montre que cette quantité est ordinairement

considérable et il permet d'apprécier de combien elle diminue la résistance :

NOMBRE D'ESSAIS.	ÉTAT des échantillons. — Desséchés à l'étuve : *d*. Entièrement imbibés : *i* Non saturés d'eau : *n*.	QUANTITÉ D'EAU Le volume de l'échantillon ou son poids après dessiccation étant 100.				PRESSION par centimètre carré, ayant déterminé la rupture.	
		En volume.		En poids.			
			Moyenne		Moyenne		Moyenne
2	*d*	»	0	0	0	92,5 et 80	86,2
1	*n*	15,2	15,2	9,4	9,4	29,2	
3	*n*	de 18,2 à 19,7	18,9	de 11,4 à 12,6	11,8	de 35,2 à 16,7	21,6
3	*n*	de 22,5 à 25,8	23,7	de 13,5 à 19,5	14,4	de 31,3 à 16,5	22,5
6	*i*	de 37,6 à 39,8	38,6	de 23,4 à 25,1	24,3	de 26 à 13,9	18,6

Les cubes se rompent le plus souvent par fractures verticales et sans déformation préalable sensible.

Ils s'imbibent promptement et d'une manière complète par capillarité, lorsqu'on en baigne une partie.

La roche crayeuse se trouvait d'ailleurs partout saturée d'eau en carrière ; car, des échantillons ayant été pris fort au-dessus du niveau qu'avait atteint l'inondation, les uns en massifs vierges, les autres dans des piliers, et ayant été pesés sur place, on les a laissés séjourner dans des vases contenant de l'eau, et leur poids n'a pas augmenté.

Un grand nombre d'expériences semblables, remontant à l'année 1852 et restées inédites, ont aussi été faites par M. Delesse sur les matériaux que fournissent les carrières du département de la Seine. Elles étaient également motivées par de vastes effondrements, survenus quelques années auparavant, dans les crayères d'Issy, à la suite d'une élévation exceptionnelle de la Seine et de sa nappe souterraine qui avait imbibé et par suite affaibli les piliers de craie.

Les échantillons servant aux expériences étaient des cubes ayant pour la plupart 5 centimètres de côté.

Voici un résumé des résultats obtenus. Pour abréger, nous nous contenterons de donner les chiffres moyens de chaque série d'essais se rapportant à des cubes de même provenance, mis dans les mêmes conditions hygrométriques :

NATURE de la pierre.	PROVENANCE.	NOMBRE D'ESSAIS.	PESANTEUR spécifique.	ÉTAT de l'échantillon. — Desséché à 100° : *d*. Imbibé d'eau : *i*. Sec par exposition à l'air : *s*.	PRESSION par centimètre carré, ayant déterminé la rupture.
Craie	Issy	2	1,63	*d*	36,4
		1	1,64	*s*	23,6
		1	2,05	*i*	12,9
Calcaire grossier.	Vitry	1	1,82	*d*	76
		2	1,84	*s*	52,8
		2	2,03	*i*	26,9
	Vanves (banc de lambourde)	3	1,68	*d*	52,9
		1	1,64	*s*	42,2
	Carrières Saint-Denis	1	1,60	*d*	48.7
		5	1,60	*s*	31,2
		1	1,89	*i*	21,8
	Nanterre (banc de lambourde)	7	1,87	*s*	28
		2	1,85	*i*	18
	Ivry (lambourde, banc de dessus).	1	1,61	*d*	54,8
		1	1,58	*s*	40,3
		1	1,87	*i*	30,2
	Ivry (lambourde, banc de dessus).	2	1,70	*s*	51,1
		4	1,95	*i*	52,2
	Houilles (pierre tendre)	6	1,57	*d*	38,9
		1	1,60	*s*	37,2
		3	1,86	*i*	19,5
	Gentilly (banc tendre)	1	1,59	*d*	46,5
		2	1,53	*s*	24,9
		2	1,79	*i*	15,9
	Bagneux (lambourde)	1	1,39	*s*	58,7
		3	1,95	*i*	42,8
	Arcueil (banc royal)	1	1,78	*s*	74,5
	Arcueil (lambourde)	3	1,68	*d*	59,9
		2	1.65	*s*	52,4
		9	1,84	*i*	32
Gypse	Suresnes	2	2,22	*d*	137,0
		4	2.14	*s*	115,3
		3	2,29	*i*	58.2

D'après les diverses expériences de MM. Delesse, Michelot et Tournaire sur les roches imbibées, on voit que, pour la craie, la résistance à l'écrasement peut se réduire au quart et même au cinquième; pour des calcaires tendres, tels que certains calcaires grossiers de Vitry et de Gentilly, elle se réduit à peu près au tiers. Pour le gypse grenu de Suresnes, la résistance se réduit beaucoup

moins, puisqu'elle s'élève encore aux deux cinquièmes; le gypse étant soluble dans l'eau, il est assez remarquable que sa résistance à l'écrasement diminue aussi peu par suite de l'imbibition.

Résistance des roches à la traction.

MM. Delesse et Michelot ont encore soumis quelques roches calcaires à des expériences de rupture par traction. Les échantillons préparés pour ces recherches avaient une forme prismatique dont la section était un carré de 5 centimètres de côté. Les efforts, qui ont produit la rupture, sont indiqués ci-dessous et on les a rapportés au centimètre carré de section :

	kilog.
Banc royal d'Arcueil	13,3
— de Châtillon	14,7 et 12,9
Lambourde de Bagneux	9,6 et 6,1
— de Châtillon	4,8
— de Vanves	10,5 et 8,2

Résistance des roches à l'usure.

M. Michelot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a fait avec le concours de M. J. Brun, et au moyen d'un appareil établi par M. E. Müller (1) à son usine céramique d'Ivry, une série nombreuse d'expériences sur l'usure par le frottement des roches qui sont employées en trottoirs, dallages et marches d'escaliers.

La surface frottante mesurait 5 décimètres carrés dont chacun donnait lieu à une pression de 10 kilogrammes; elle recevait son mouvement d'une machine et après 10.000 coups, soit 20.000 coups effectifs à cause de l'aller et du retour, on mesurait l'usure de la plaque frottée, au moyen d'une vis micrométrique. L'usure était d'ailleurs produite par du sable de Fontainebleau qui était blanc, quartzeux, fin et à l'état sec. Le centième de millimètre a été pris pour l'unité de résistance à l'usure; en sorte qu'une roche qui, après 20.000 coups, aurait diminué de 1^{mm},65 correspondrait à une résistance représentée par 165.

Le tableau suivant réunit aux expériences de M. Michelot quelques-unes de celles qui ont été faites par M. E. Müller :

(1) *Cours de constructions civiles professé à l'École des Arts et Manufactures*, 1875.— *Revue de géologie*, X, 16.

NATURE ET PROVENANCE DES ROCHES ESSAYÉES.	TERRAIN et position géologique.	COEFFICIENT d'usure.
Granites.		
Granite des trottoirs de Paris.	. . . .	31
Roches volcaniques.		
Trachyte des carrières de Conte à Aurillac (Cantal).	Terrains volcaniques. . . .	64
Lave de Volvic (Puy-de-Dôme).	Id.	106
Trachyte porphyroïde de Montusclat (Haute-Loire).	Id.	131
Roche basaltique d'Agde; carrière de Notre-Dame-du-Crau (Hérault).	Id.	168
Grès ou quartzites.		
Quartzite servant à faire les pavés bleus, à Metz.	Paléozoïque.	11
Grès tertiaire de la carrière de Pouvray (Orne).	Eocène.	32
Grès bigarré de Saint-Germain, carrière du Châtelet (Haut-Rhin).	Trias.	55
Dalles de Celles, grès calcarifère (Ariége).	Crétacé.	94
Grès rouge de Plaine, carrière de Champenay (Vosges).	Permien.	107
Grès vosgien d'Epinal, carrière de Quarante-Semaines (Vosges).	Id.	165
Grès bigarré de Roumengoux (Ariége).	Trias.	238
Id. d'Epinal, carrière de Razimont (Vosges).	Id.	282
Grès infraliasique de Provenchères (Haute-Marne).	Rhétien.	717
Pierres calcaires.		
Marbre de Ferques, dit *Stinkal*, carrières du Haut-Banc (Pas-de-Calais).	Carbonifère.	36
Pierre de Meillerie, carrière de Boncour (Haute-Savoie).	Jurassique.	57
Roche blanche de Taulignan, des Grandes-Carrières (Drôme).	Crétacé.	62
Calcaire gréseux de Maninghen (Pas-de-Calais). .	Jurassique, ét. portlandien.	
Marbre de la Jallorie, carrière de la Baconnerie		67
(Mayenne).	Silurien.	70
Pierre froide de Frontignan, carrière du Signal (Hérault).	Jurassique, ét. oxfordien. .	75
Pierre lithographique de Fuveau, carrière de Castelas (Bouches-du-Rhône).	Eocène.	76
Pierre-marbre de Comblanchien, carrière de Bellevue (Côte-d'Or).	Jurassique, grande oolite. .	80
Pierre de Montmerle, carrière de Montmerle (Ain).	Id., ét. kimméridien.	83
Pierre-marbre de Némont, carrière de Némont (Jura).	Jurassique, ét. séquanien. .	90
Pierre des carrières de Chomérac (Ardèche). . . .	Id. ét. oxfordien. .	96
Pierre de Vayson, carrière Sainte-Catherine (Vaucluse).	Crétacé, ét. néocomien. . .	97
Marbre des carrières de la Roche-sur-Forest (Haute-Savoie).	Id. Id.	98
Pierre blanche de Vendargues (Hérault).	Miocène.	102
Pierre dure de la carrière du Val-Saint-Dizier (Haut-Rhin).	Jurassique, ét. corallien. .	106
Calcaire à Entroques de Brochon (Côte-d'Or). . . .	Id., oolite inférieure.	110
Calcaire gréseux de Chandolin (Sarthe).	Id., ét. callovien. . .	112
Marbre de Cier-de-Rivières (Haute-Garonne). . . .	Id., Id.	112
Calcaire suboolithique de Bucey-lès-Gy (Haute-Saône).	Id., grande oolite. . .	119

NATURE ET PROVENANCE DES ROCHES ESSAYÉES.	TERRAIN et position géologique.	COEFFICIENT d'usure.
Calcaire lacustre des carrières de Pontlevoy (Loir-et-Cher)	Miocène, calc. de Beauce.	126
Calcaire lacustre compacte de Gannat (Allier)	Id., Id.	131
Marbre de Sainte-Anne, carrière de Marpent (Nord).	Dévonien.	134
Calcaire lacustre de Briare (Loiret)	Miocène, calcaire de Brie.	137
Liais de Venderesse (Aisne)	Tertiaire, calcaire grossier.	149
Pierre de Crussol, carrière de Saint-Péray (Ardèche)	Jurassique, ét. oxfordien.	158
Pierre de la Fosse-en-Breuil, carrière de Charroux (Vienne)	Id., grande oolite.	163
Calcaire à entroques de Grenant (Haute-Marne)	Id., oolite inférieure.	166
Lumachelle d'Aubréville (Meuse)	Id., ét. portlandien.	166
Pierre dure de Corps (Vendée)	Id., lias.	174
Liais de Troësnes, commune de Silly-la-Poterie (Aisne)	Eocène, calcaire grossier.	175
Pierre bleue, sciée, de Soignies (Belgique)	Carbonifère.	196
Idem. Idem.	Id.	197
Pierre de Chérence (Seine-et-Oise)	Eocène, calcaire grossier.	203
Pierre blanche de Dieue (Meuse)	Jurassique, ét. corallien.	210
Pierre de la carrière de Venterol (Drôme)	Crétacé.	210
Pierre grise de Vendargues (Hérault)	Miocène.	214
Calcaire compacte des carrières de Villentrois (Indre)	Crétacé, craie marneuse.	224
Pierre d'Argentan (Orne)	Jurassique.	227
Pierre de Tessancourt (Seine-et-Oise)	Eocène, calcaire grossier.	230
Liais de Lézines, dit de *Tonnerre* (Yonne)	Jurassique, ét. oxfordien.	244
Pierre de la carrière de la Croix-Blanche à Chauvigny (Vienne)	Id., grande oolite.	255
Pierre de la carrière de la Limoise à Echillais (Charente-Inférieure)	Crétacé, craie marneuse.	296
Pierre de la carrière du Tbor-Blanc à Saint-Rémy (Bouches-du-Rhône)	Miocène.	298
Pierre de Montaulieu (Haute-Garonne)	Id.	322
Roche de Saint-Nom (Seine-et-Oise)	Eocène, calcaire grossier.	354
Pierre blanche d'Ambly (Meuse)	Jurassique, ét. corallien.	374
Banc franc de Frontenac (Gironde)	Miocène.	382
Pierre de la carrière Glenat, à Barbantane (Bouches-du-Rhône)	Id.	401
Pierre rouge de Saint-Pézenne (Deux-Sèvres)	Jurassique, oolite inférieure	446
Pierre de Larroque et Puycelci (Tarn)	Id., Id.	482
Pierre fine d'Haudainville (Meuse)	Id., ét. séquanien.	548
Pierre de Beaume-de-Transit (Drôme)	Miocène, molasse marine.	708
Schistes.		
Schiste ardoisier, gris rosé, de Monthermé (Ardennes)	Silurien.	276
Schiste ardoisier de Javron (Mayenne)	Id.	290
Schiste ardoisier gris vert de Monthermé	Id.	878

On voit que la résistance du quartzite peut dépasser celle du granite, et que des calcaires très-compactes l'emportent sur certains trachytes ou même sur des grès. Parmi les roches essayées, les calcaires présentent, comme les grès, de grandes variations et le schiste ardoisier montre la moindre résistance à l'usure.

Plasticité des roches.

Dans les régions de montagnes, les roches présentent souvent des plissements multiples et très-contournés qui ont eu lieu sur une grande échelle ; c'est en particulier ce que l'on observe bien dans les Alpes. M. F. Nies (1) a fait remarquer, en outre, que la facilité avec laquelle les roches sédimentaires se laissent ployer et prennent des formes ondulées, augmente avec la proportion d'argile qu'elles renferment. En les ordonnant d'après leur aptitude sous ce rapport, il obtient, en effet, le tableau suivant :

ROCHES.	Argile 0/0.
Néocomien du Glarnish	30,0
Schistes aptiens à orbitulines du Glarnish	28,6
Calcaire argilo-schisteux du jurassique supér^r du Glarnish.	23,0
Sénonien (Sewerkalk) du lac de Klönthal	9.6
Calcaire des hauts sommets des Alpes	traces

Il est à observer d'ailleurs que des bancs de calcaire pur, de grès, de quartzite, peuvent très-bien subir des plissements et même suivre toutes les ondulations des couches argileuses entre lesquelles ils sont intercalés; toutefois leur inaptitude à se ployer est accusée par les cassures et par les nombreux fendillements qu'ils présentent.

En résumé, à la surface de l'écorce terrestre, plus une roche est argileuse, plus elle est plastique, en sorte que le type sous ce rapport est offert par l'argile pure; mais, à une grande profondeur, grâce à la pression, ainsi qu'à l'eau et à l'accroissement de la température, toutes les roches peuvent devenir plastiques; il est, du reste, facile de le reconnaître par les formes ondulées que présentent souvent le gneiss, le micaschiste, les schistes cristallins et, en général, les roches métamorphiques.

Emploi du microscope pour distinguer les feldspaths dans les roches.

M. Des Cloizeaux (2) a reconnu que plusieurs échantillons de feldspaths, regardés jusqu'à présent comme de l'orthose, appartiennent en réalité à une espèce triclinique, à base de potasse, et à laquelle il a donné le nom de *microcline ;* ce nom avait déjà été attribué par Breithaupt au feldspath de la syénite zirconienne de Fredrikswärn, et à quelques autres échantillons que M. Des Cloizeaux a montré n'être que des orthoses. Quant au véritable

(1) *Neues Jahrbuch*, 1876, 113.
(2) *Annales de chimie et de physique*, 5e série, t. IX, 1876 (extrait par M. Dufet).

microcline, il est caractérisé par ce fait qu'une lame parallèle à la base, placée entre deux nicols croisés, a une direction d'extinction maximum qui fait un angle de 15° 27′ avec l'arête d'intersection des clivages p et g^1, au lieu de lui être parallèle comme dans l'orthose. Les lames en question présentent souvent dans la lumière polarisée un aspect *quadrillé* tenant à l'entre-croisement de bandelettes, dont les unes sont parallèles à l'arête pg^1 tandis que les autres lui sont presque perpendiculaires; mais on rencontre aussi des structures qu'on peut appeler déchirées, guillochées, etc. Les bandelettes de microcline, parallèles à g^1, sont quelquefois mélangées de bandelettes d'orthose ou enchâssées dans des plages plus ou moins étendues de feldspath. Les inclusions les plus fréquentes sont produites par des filons d'albite, de largeur très-variable, qu'il est facile de reconnaître aux petites bandes hémitropes parallèles à g^1 dont ils se composent et à l'angle de 3 à 4° que leur extinction fait avec l'arête pg^1.

Le microcline le plus pur examiné jusqu'à présent provient de Magnet-Cove (Arkansas); on n'y aperçoit aucune inclusion d'albite. M. Des Cloizeaux cite dans son mémoire plus de 70 échantillons de diverses provenances; mais ce nombre va toujours en augmentant, à mesure qu'on examine de nouveaux granites et de nouvelles pegmatites à feldspath tant soit peu coloré. Un grand nombre de ces échantillons ont été analysés par MM. Damour et Pisani; leurs analyses conduisent à la conclusion que le microcline est un feldspath plus constamment et plus exclusivement potassique que l'orthose et que la proportion de soude y est en rapport avec la quantité d'albite visible avec un microscope; il y aurait donc, dans les deux minéraux, dimorphisme du silicate de potasse.

L'orthose et le microcline sont, d'après ce qui précède, très-faciles à distinguer sur des plaques parallèles à la base. M. Des Cloizeaux a cherché à distinguer de la même façon les divers feldspaths. L'*albite* à travers la base donne une extinction maximum placée à 3 ou 4° de l'arête pg^1 et, dans le cas très-fréquent de macles parallèles à g^1; ce feldspath fournit deux directions d'extinction faisant entre elles un angle de 7 à 8°. Avec des lames parallèles à g^1 l'extinction maximum se fait en moyenne à 20° de l'arête pg^1, au lieu que dans le microcline l'extinction se fait de 5 à 7° et dans l'orthose de 5 à 11° ou 12° au maximum. L'*oligoclase*, parallèlement à la base, donne l'extinction à 1 ou 2° de l'arête pg^1 et par suite est très-difficile à distinguer de l'orthose, sauf dans les variétés à bandes hémitropes. Parallèlement à g^1 l'extinc-

tion se fait de 2 à 8° de l'arête pg^1, ce qui ne ressemble qu'au microcline. L'*undésine* se rapproche beaucoup de l'oligoclase, et ne saurait s'en distinguer optiquement. Le *labradorite* présente le plus souvent des lamelles hémitropes, qui, sur des plaques perpendiculaires à g^1, donnent deux directions d'extinction faisant un angle de 11 à 14°, donc un peu plus fort que pour l'albite; avec des plaques parallèles à g^1, on trouve tantôt un angle de 20° comme dans l'albite, tantôt un angle plus fort, égal à 27° environ. Pour l'*anorthite*, dans des plaques parallèles à la base, les directions d'extinction des bandes hémitropes font des angles très-variables de 57 à 70°; dans des plaques parallèles à g^1, la direction maximum d'extinction fait avec l'arête pg^1 des angles compris entre 33° et 46° 40'. Ces angles, très-variables, il est vrai, sont cependant assez différents de ceux des autres feldspaths pour permettre de reconnaître facilement l'anorthite; M. Des Cloizeaux a par suite rapporté à ce feldspath triclinique certaines variétés plus ou moins imparfaitement déterminées, telles que la *lépolite*, l'*esmarkite*, la *polyargite*, la *pyrrholite*, l'*amphodélite*, la *tankite*.

En appliquant cette méthode de recherches aux feldspaths contenus dans les roches, on parviendra donc à les distinguer toutes les fois qu'il sera possible de les tailler parallèlement à g^1 ou à la base p.

Couleur gris bleuâtre des calcaires.

Les calcaires, particulièrement ceux du terrain jurassique, ont souvent une couleur gris bleuâtre qui disparaît le long des fissures et près de la surface du sol. Ebelmen a constaté que ces calcaires contiennent alors de la pyrite de fer qui, dans certains cas, se distingue même à la loupe; toutefois M. Albrecht Muller (1) a observé que des matières organiques bitumineuses contribuent aussi à produire cette couleur; car l'analyse apprend que les calcaires gris bleuâtres peuvent n'avoir qu'une proportion de pyrite insignifiante; de plus, lorsqu'on calcine ces calcaires, ils deviennent complétement blancs par suite de la destruction de leurs matières organiques et l'on n'y aperçoit aucune trace de pyrite.

Acide phosphorique dans les roches.

Russie. — Les roches stratifiées et non stratifiées contiennent généralement des proportions dosables d'acide phosphorique (2),

(1) *Neues Jahrbuch*, 1876, 74.
(2) *Revue de géologie*, XIII, 10.

mais, à cause de la facilité avec laquelle le phosphate de chaux se dissout dans les eaux contenant de l'acide carbonique, on conçoit qu'il y en ait surtout dans celles qui encaissent de la phosphorite. D'après M. Yermolow (1), voici les résultats obtenus en analysant diverses couches du terrain crétacé, provenant des régions de la Russie dans lesquelles la phosphorite est susceptible d'être exploitée :

	Acide phosphorique. 0/0.
Craie siliceuse de Yendowistsche (Voronége)	0,20
— de Yablonetz (Koursk)	0,38
— de Korrennaya (Koursk)	0,82
Sable meuble (Spassk)	0,07
— servant de lit à la phosphorite (Tambow)	0,20
Roche sableuse, recouvrant la couche de phosphorite (Spassk)	0,22
Grès vert de Tambow	0,30
Marne de Yablonetz	2,20

M. Yermolow a constaté que les couches enveloppant des nodules de phosphorite, et notamment celles qui se trouvent au mur de la phosphorite, contiennent depuis 1 millième jusqu'à plus de 1 centième d'acide phosphorique. On conçoit d'ailleurs que la couche du mur puisse en contenir davantage, particulièrement lorsqu'elle est argileuse, puisque l'argile jouit de la propriété d'absorber les phosphates.

AUVERGNE. — M. Truchot (2) a déterminé la proportion d'acide phosphorique fournie par différentes roches granitiques ou volcaniques de l'Auvergne :

ROCHES.	Acide phosphorique. 0/0
Granite de Trézioux, canton de Saint-Dier	0,048
— de Bourgnon —	0,015
Gneiss du Chéry, canton de Sauxillanges	traces
Domite du Puy-de-Dôme	0,109
Trachyte du mont Dore	0,217
Scorie basaltique de Pont-des-Eaux	0,512
Pouzzolane de Gravenoire	0,614
Lave —	0,717
— partiellement décomposée	0,742

Les granites et les gneiss de l'Auvergne sont pauvres en acide phosphorique, tandis que les roches volcaniques, et particulièrement les laves du même pays, sont relativement très-riches.

Du reste, les roches volcaniques contiennent généralement plus d'acide phosphorique que les terres végétales provenant de leur

(1) *Recherches sur les gisements de phosphate de chaux fossile en Russie*. Saint-Pétersbourg. 1873.

(2) *Observation sur la composition des terres arables de l'Auvergne* (*Annales agronomiques* publiées par M. Dehérain).

destruction ; car, d'après des analyses de M. Truchot, la proportion d'acide phosphorique trouvée dans plusieurs de ces dernières est restée comprise entre 0,15 et 0,41 p. 100.

Analyse immédiate des roches par l'acide fluorhydrique. On sait que l'acide fluorhydrique dissout très-facilement la silice à l'état de quartz, tandis qu'il attaque très-inégalement les autres minéraux et, en particulier, très-faiblement les silicates alumineux purs ; c'est pourquoi cet acide a souvent été employé pour connaître la composition minéralogique des roches et pour corroder certaines de leurs parties, de manière à mettre en évidence leur structure intime.

A l'aide de l'acide fluorhydrique, M. de Lasaulx (1) a constaté, comme l'avaient fait déjà MM. Le Chartier et Rammelsberg, que beaucoup de staurotides sont intimement mélangées avec du quartz ; lorsqu'on les traite préalablement par cet acide, on trouve qu'elles sont ramenées à la composition de la staurotide pure du Saint-Gothard.

M. Rammelsberg a même reconnu que dans une staurotide de Bretagne, imprégnée de quartz, l'augmentation de silice s'élevait jusqu'aux deux tiers.

Dans ces derniers temps, M. Fouqué (2) s'est également servi avec succès de l'acide fluorhydrique pour étudier les roches volcaniques et pour faire leur analyse immédiate. Réduisant ces roches en grains pulvérulents, il a reconnu qu'en employant l'acide fluorhydrique concentré, leurs éléments ordinaires se dissolvent dans l'ordre suivant : la matière amorphe, les feldspaths, le péridot, le fer oxydulé, le pyroxène et l'amphibole.

Minéraux constituant les roches.

M. de Lasaulx (3) a donné un tableau comprenant les minéraux qui forment les roches, dans lequel il les classe d'après leur manière d'être dans la nature et aussi d'après leur importance :

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1172.
(2) *Mémoires des savants étrangers*, XXII, n° 12.
(3) *Elemente der Petrographie*, Bonn, 1875.

MINÉRAUX

qui sont des éléments essentiels, quand ils sont associés avec d'autres, mais qui peuvent aussi constituer des roches par eux-mêmes.		qui sont toujours associés avec d'autres.		qui constituent eux-mêmes des roches, sans association ni mélange avec d'autres.		qui ont de l'i[m]portance com[me] éléments car[ac]téristiques, bi[en] qu'étant acce[s]soires.
FRÉQUENCE		FRÉQUENCE		FRÉQUENCE		
grande.	petite.	grande.	petite.	grande.	petite.	
1	2	3	4	5	6	7
Quartz.	Grenat.	Feldspaths.	Hypersthène	Calcite.	Baryte sulfatée.	Péridot.
Hornblende.	Epidote.	Mica.	Enstatite.	Dolomie.	Fluorine.	Andalousite.
Augite.	Péridot.	Néphéline.	Diallage.	Fer spathique.	Cryolithe.	Chiastolithe.
Chlorite.	Oligiste.	Amphigène.	Bastite,	Gypse.	Émeri.	Sphène.
Talc.	Graphite.		Bronzite.	Anhydrite.		Tourmaline.
Magnétite.	Paranthine.		Nosean.	Sel gemme.		Grenat.
Apatite.	Serpentine.		Hauÿne.	Kaolin.		
			Tourmaline.	Carbone.		
			Zircon.	Hématite.		
			Dichroïte.	Limonite.		
			Disthène.			
			Topaze.			
			Omphazite.			
			Saussurite.			

On voit par ce tableau que les minéraux constituant les roches ont une importance très-inégale; ceux dont l'importance est la plus grande sont inscrits dans les colonnes 1, 3, 5; mais dans la colonne 5, par exemple, la calcite qui forme les calcaires a beaucoup plus d'importance que le gypse ou le fer spathique: d'un autre côté, les minéraux de la colonne 5 en ont beaucoup moins que ceux des colonnes 1 et 3. En définitive, comme on l'a depuis longtemps constaté, le quartz, les feldspaths, l'hornblende, l'augite les micas, le fer oxydulé sont les minéraux qui ont la plus grande importance pour le géologue.

CLASSIFICATION DU RÈGNE MINÉRAL.

Le successeur de Breithaupt à l'École des mines de Freyberg, M. Albin Weisbach (1), a publié, d'après le système de son ancien professeur, une classification du règne minéral. Nous nous contenterons de donner ici le tableau qui en résume les traits principaux, en conservant les dénominations adoptées dans l'original, lesquelles ne sont pas toujours susceptibles d'être traduites :

(1) *Synopsis mineralogica.*

I. Sels ou hydrolithes.	II. Pierres ou lithes.	III. Minerais ou métallites.	IV. Combustibles.
	I. Kuphoxydes. II. Pyritites (silicates). 1. Sklérites. 2. Zéolithes. 3. Phyllites (micas). 4. Amorphites. III. Apyritites.	I. Halométallites. II. Métalloxydes. III. Métaux. IV. Thiométallites. 1. Pyrites. 2. Galénites. 3. Cinnabarites (blendes)	I. Thion (soufre). II. Anthracite (charbons). III. Asphaltite (bitumes). IV. Rétinite (résines). V. Paraffine (cires).

M. A. Weisbach met en relief les avantages que présente, pour le mineur et pour le praticien, cette classification de Breithaupt d'après laquelle est rangée la riche collection de l'École des mines de Freyberg.

ROCHES.

Passons maintenant à la description des différentes espèces de roches, en insistant particulièrement sur les travaux qui font connaître leur structure microscopique ainsi que leur composition minéralogique et chimique.

Roches carbonées.

Pétrole, bitume.

Pyrénées. — M. J. Thore (1) a étudié, dans le Sud-Ouest de la France, notamment dans la région des Pyrénées, les relations du pétrole et du bitume, soit avec l'ophite et les dépôts qui lui sont associés (dolomie, gypse, sel gemme), soit avec les sources minérales qui existent encore maintenant. En particulier, il signale la présence du pétrole dans les environs de Dax, de Bastennes, de Castagnère, de Cazère, de Saint-Pé-de-Luna, de Cassabes, dans la plaine marécageuse du Padre, près Salles-du-Béarn, à Barenne et Salles-Mongiscard, près d'Orthez et à Saint-Boès. Dans cette dernière localité, remarquable par ses eaux sulfureuses et bitumineuses, on trouve de beaux cristaux de soufre natif, de strontiane sulfatée et de chaux carbonatée, qui sont engagés dans un grès bleuâtre caverneux, appartenant au terrain crétacé.

(1) *Bulletin de la Société Ramond*, 11e année. — *Société de Borda*, 1876.

LANDES. — D'après MM. Eugène Jacquot et V. Raulin (1), les principaux gîtes de bitume du département des Landes étaient ceux de Bastennes et de Gaujacq, actuellement inexploités, et des ophites s'observent également dans leur voisinage immédiat. Le bitume y était mélangé dans la proportion d'un cinquième à la molasse coquillière et ferrugineuse (falun à Cardita Jouanneti) et les couches, assez irrégulières, avaient une épaisseur moyenne de 2 mètres.

On séparait le bitume, en traitant le falun par l'eau bouillante qui enlevait le bitume et dissolvait de plus une certaine proportion de sulfate de protoxyde de fer ainsi que du sulfate d'alumine. En soumettant à la distillation la molasse bitumineuse de Bastennes, M. Armand (2) a constaté, qu'à une chaleur modérée, la production de gaz est presque nulle et dans une expérience, il a obtenu pour la composition du bitume de Bastennes :

Résidu fixe. Sable et charbon.	88,16
Bitume fluide	7,89
Huile légère	1,31
Eau	2,11
Gaz et perte	0,53
Somme	100,00

— M. Armand, chimiste de la compagnie parisienne des asphaltes, a d'ailleurs déterminé la composition d'un très-grand nombre de produits bitumineux dont il a étudié aussi les gisements. Ayant travaillé nous-même avec M. Armand et ayant pu apprécier la conscience avec laquelle il exécutait ses analyses, nous allons donner un résumé sommaire de ses recherches sur ce sujet, d'après les notes manuscrites qu'il a laissées à sa mort.

FORENS. — Les gisements d'asphalte de Forens (Ain) appartiennent, comme ceux de Pyrimont et de la Perte-du-Rhône, à la partie inférieure du terrain crétacé. Ils constituent des bancs massifs qui forment à cet endroit les flancs de la vallée de la Valserine, sur la rive droite. Ces gisements d'asphalte se composent de couches presque verticales, d'une puissance de 5 à 6 mètres, se dirigeant, comme la vallée elle-même, du N.-E. au S.-O.

La roche asphaltique est compacte, à pâte très-fine, colorée en rouge brun, exhalant l'odeur franche d'un bitume naturel. Douce-

(1) *Statistique géologique et agronomique des Landes*, 1874.
(2) Notes manuscrites communiquées par M. Delesse.

ment chauffée, elle perd un peu d'eau et se délite. Elle contient 5 à 7 p. 100 d'un bitume de bonne qualité; lorsqu'on le lui enlève par des lavages à la benzine, elle laisse pour résidu un calcaire blanc, crayeux, qui est très-pur.

VAL-DE-TRAVERS. — L'asphalte du Val-de-Travers est également compacte; sa couleur est brune et son odeur est agréable. D'après M. Armand, ce calcaire offre, en moyenne, la composition suivante :

Résidu fixe	89,97
Huile	6,70
Eau	1,89
Gaz et perte	1,44

LOBSANN. — Le minerai bitumineux de Lobsann présente plusieurs variétés. Citons l'analyse suivante faite sur une roche de texture granulaire, brune, non fusible :

Calcaire argileux avec oxyde de fer	82,78
Eau due à la perte subie par le calcaire argileux, chauffé au rouge sombre, puis refroidi sur de l'acide sulfurique concentré	5,46
Substance bitumée	11,76

FRANGY. — Le calcaire bitumineux qu'on rencontre à Frangy (Savoie) est dur, cristallin, d'une grande densité, ne renfermant que des traces d'argile et de silice. Il contient : calcaire, 95,20; bitume pur, 4,80.

TATAROS. — Le sable bitumineux de Tataros, en Hongrie, a été aussi étudié par M. Armand. Il constitue une roche molle, glutineuse, noire, exhalant une odeur pénétrante. Il commence à fondre à la seule chaleur de la main. Sa composition est la suivante :

Bitume avec pétrole	14,95
Eau	1,05
Sable quartzeux et micacé	84,00

Voici d'ailleurs la coupe relevée par M. Armand dans une tranchée qui atteint jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur :

	mèt.
Terre végétale	0,42
Sable bitumineux avec efflorescences de sel marin	0,20
Argile plastique	0,80
Sable bitumineux	1,90
Lignite feuilleté	0,16
Schiste	0,63
Sable ferrugineux	1,90
Sable bitumineux	0,95

Ces couches se dirigent de l'E. à l'O., sous une inclinaison de 13°.

Apennins. — M. Armand a observé dans les terrains tertiaires des Apennins, aux environs de Velletri, de Pepoli, de Chieti, de Lanciano, de Venofro, de Ponte-Corvo, des gisements de matières bitumineuses qui ont de l'importance. On aperçoit ces gisements à découvert, à la naissance des ravins, sur les pentes, là où les eaux ont rongé le sol ; ils se trouvent au-dessous des marnes subapennines.

M. Armand les partage en deux groupes principaux, orientés du N.-E. au S.-O., qui correspondraient chacun à un centre d'éruption de matières bitumineuses. A mesure que l'on s'éloigne de l'un de ces centres pour aller vers la circonférence, on constate que les dépôts sont de moins en moins bitumineux et de plus en plus chargés de pétrole. Ainsi, les matières les plus volatiles se encontrent vers les bords de l'épanchement bitumineux, tandis que les matières les plus fixes sont restées vers la partie centrale.

Les centres d'éruption des deux groupes paraissent correspondre à des dépressions bien marquées du sol ; pour le groupe du N.-E., cette dépression serait, au lac Manopello, vers Chieti, et, pour le groupe du S.-O., au lac Fucino.

Raguse. — A Raguse, dans la province de Noto, en Sicile, on observe, au milieu des calcaires blancs du terrain crétacé, des couches alternantes de calcaire bitumineux qui se succèdent sur une hauteur de plus de 50 mètres. Ce calcaire bitumineux a beaucoup de rapport avec celui du Val-de-Travers. Sa texture est serrée, sa pâte fine, parsemée de petits cristaux brillants ; il décrépite sous l'influence de la chaleur. Son poids spécifique est de 1,68. Dépouillé de son bitume par la benzine, il donne un calcaire jaunâtre, qui contient moins d'un millième de son poids de silice.

D'après M. Armand, voici la composition de deux calcaires asphaltiques de Raguse, qui ont été pris, I vers la surface du sol, II à 43 mètres au-dessous de cette surface :

	I.	II.
Bitume pétrolé	4,70	11,20
Eau	3,28	4,95
Silice	0,09	0,06
Chaux carbonatée	91,93	83,79
Somme	100,00	100,00

On voit que la richesse en bitume diminue notablement à mesure qu'on s'élève dans le terrain crétacé ; il y a d'ailleurs des couches calcaires qui sont restées complétement blanches et n'ont pas été imprégnées par le bitume.

COLORADO. — Dans la région arrosée par la rivière White, dans l'ouest du Colorado, et en dehors du territoire réservé aux Indiens, l'exploration faite par le Dr Hayden (1) a constaté l'existence de gisements d'asphalte et de sources de pétrole qui pourront, dans l'avenir, prendre de l'importance au point de vue industriel.

Sporite.

Le nom de *sporite* pourrait être attribué à une roche, qui est produite par l'accumulation de spores végétales. Cette roche, très-exceptionnelle, se forme actuellement dans les cavernes de l'île de la Réunion. Elle a été rapportée par M. de l'Isle et étudiée au microscope par MM. Bureau et Poisson (2). A la base du Piton-des-Roches, vers 1.200 mètres d'altitude, elle constitue, sur plus d'un mètre d'épaisseur, le sol d'une caverne à ouverture très-étroite. Elle est jaunâtre, douce au toucher et friable. Desséchée, elle brûle avec une flamme jaune, très-courte, presque sans fumée et sans odeur; humide, elle se consume à la manière de l'amadou.

D'après MM. Bureau et Poisson, ses grains sont de forme ovale; ils ont leur surface couverte d'une réticulation saillante et montrent généralement une fente par laquelle a dû s'échapper leur contenu; ils ne peuvent être rapportés qu'à des Polypodiées, fougères qui, à cette altitude et à l'époque actuelle, sont assez abondantes dans l'île de la Réunion.

Tout porte à croire que ces spores étaient en suspension dans l'air, qui, en ralentissant ses mouvements à l'intérieur de la caverne, y a produit des accumulations successives; les couches ainsi formées ont dû être imprégnées par l'humidité souterraine, ce qui explique la production des fentes par lesquelles s'est échappé leur contenu. D'un autre côté, la caverne les a complétement préservées de la destruction par l'atmosphère.

Tourbe.

LITTORAL FLAMAND. — M. H. Debray (3), conducteur des ponts et chaussées, a étudié différentes tourbières du nord de la France, en particulier celles d'Ardres et du littoral flamand. En même temps il a réuni une belle collection des fossiles végétaux et animaux ainsi que des antiquités gauloises et romaines que renferment ces tourbières. La collection de M. Debray a été donnée au Musée géologique, formé par M. Gosselet, à la Faculté des sciences de Lille.

(1) *Explorations made under the direction of professor* F. V. Hayden *in* 1876.
(2) *Bulletin de l'association scientifique*, 1876, p. 300.
(3) *Mémoires de la Société des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille*, 1873.

Sur le littoral flamand, les tourbières présentent en moyenne la coupe suivante :

	mèt.
Terre de marais	0,20
Argile grise ou sable, avec mollusques marins et couche d'eau saumâtre à la partie supérieure	0,83
Argile bleue plus ou moins sableuse, avec mollusques marins	0,82
Tourbe	1,10

La tourbe elle-même renferme des mousses, des joncées et des typhacées; à Bois-sur-Ardres, elle contient aussi une grande quantité d'arbres appartenant à des essences du pays. On y a même rencontré des graines d'Iris et un champignon.

Les mollusques de cette tourbe sont fluviatiles et terrestres; mais, dans les argiles qui la recouvrent, on observe des mollusques marins (Cardium edule, Lutraria compressa, Tellina Baltica, Mytilus edulis, Pholas candida) et des mollusques d'eau saumâtre, notamment le Rissoa ulvæ, qui est très-abondant, surtout dans l'argile grise inférieure à la terre végétale.

La tourbe du littoral flamand contient des antiquités romaines et se trouve actuellement au-dessous du niveau moyen de la mer; comme l'observe avec raison M. H. Debray, les couches marines superposées à cette tourbe doivent donc provenir d'irruptions de la mer qui ont eu lieu depuis la conquête romaine, et qui ont recouvert des marais tourbeux existant encore sur le littoral à cette époque.

PONT-SAINTE-MAXENCE. — M. Armand a fait l'analyse de la tourbe de Pont-Sainte-Maxence (Oise), qui est employée à Paris pour divers usages; il a trouvé pour sa composition :

Résidu fixe, charbon compacte	40,0
Bitume chargé de paraffine, de poids spécifique 0,98	6,67
Huile brune, chargée de paraffine	6,67
Huile rouge et légère	3,33
Eau retenant de l'alcool méthylique, de l'acétate, du carbonate et du sulfhydrate d'ammoniaque	35,83
Gaz, huiles brûlées à l'ouverture des cornues, et pertes diverses	7,5

ALLEMAGNE. — Les cendres de quelques tourbes, exploitées en Allemagne, ont été analysées par M. Websky (1).

A Tourbe formant la couche supérieure du gîte de Grunewald.
B Id. très-légère Id.
C Id. spongieuse, brun rougeâtre, de Linum.
D Id. très-lourde Id.

(1) F. Senft : *Die Humus-Marsch-Torf und Limonit bildungen*, 126.

	CENDRES.	KO.	NaO.	CaO.	MgO.	Mn^2O^3.	Fe^2O^3.	SO^3.	Cl.	SILICE soluble.	CO^2.	PhO^5.	RÉSIDU insoluble.	SOMME.
A. .	5,74	0,44	0,23	4,72	1,51	3,96	3,51	1,12	0,18	4,90	»	1,77	76,56	98,90
B. .	0,57	1,33	1,45	23,78	15,69	10,69	6,76	11,06	1,82	4,40	»	5,50	17,32	99,80
C. .	18,53	0,20	0,22	17,29	0,75	9,76	11,40	5,57	0,08	11,11	2,51	0,25	38,82	97,96
D. .	12,56	0,15	0,16	48,16	0,44	5,27	18,01	11,08	0,14	2,22	11,62	0,53	2,72	100,50

Comme le remarque M. F. Senft, les analyses des cendres de tourbe montrent que, parmi les bases, la chaux et, après elle, l'oxyde de fer tiennent le premier rang; la magnésie et l'alumine viennent après, mais sont en proportion variable. Les alcalis y sont toujours en très-minime proportion, quand ils ne manquent pas complétement, parce qu'ils ont été dissous soit par l'eau, soit par les acides qui se produisent dans la formation de la tourbe.

Parmi les acides contenus dans les cendres de tourbe, ceux du soufre, du phosphore et du silicium sont dominants; l'acide carbonique est plus rare et il y a toujours très-peu d'acide chlorhydrique.

Tourbe marine.

BRETAGNE. — Le goëmon, plus ou moins mélangé de sable, peut former sur les côtes une espèce de tourbe de couleur noirâtre, qui est d'origine marine. Cette tourbe se voit surtout aux marées d'équinoxe. Un banc, évalué à 100 hectares, existe dans la presqu'île de Sarzeau, où il est recouvert par 1 mètre de terre. Il y en a aussi dans la baie de Téven, où son épaisseur varie de $0^m,5$ à 2 mètres. La tourbe marine a encore été observée sur les côtes du Morbihan et du Finistère, dans la baie de Bourgneuf, à l'île Dieu, à Belle-Ile et à Jersey. D'après M. Bobierre (1), voici la composition de quelques-unes de ces tourbes :

	TÉVEN. noire.	TÉVEN. grise.	BOURGNEUF.	ILE-DIEU.	BELLE-ILE.
Matières combustibles	68,50	41,70	74,00	65,70	13,00
Sable quartzeux	21,70	50,70	14,00	16,70	72,00
Alumine et oxyde de fer solubles	2,50	4,00	»	4,70	3,00
Sels alcalins et calcaires	7,30	3,60	12,00*	12,90	12,90
Somme	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Azote	1,02	0,62	1,48	1,94	traces.

* Dont 3,80 p. 100 de sel marin.

(1) *Laboratoire de chimie agricole de la Loire-Inférieure*, 1850-1875. — *Compte rendu des travaux.*

On voit que la tourbe marine est fortement mélangée de sable, ce qui était facile à prévoir d'après son mode de formation. De même que le goëmon, elle peut d'ailleurs être utilisée comme engrais.

Meergeile.

HANOVRE. — En Allemagne, on désigne sous le nom de *Meergeile* une substance, très-riche en matières organiques, qui s'est déposée au-dessus du terrain diluvien, au lac Dümmer, près de Lemförde, dans le Hanovre.

La *Meergeile* forme, à l'état frais, une gelée blanc grisâtre, un peu élastique. Sa densité, qui est 1,12, augmente légèrement par la dessiccation et s'élève à 1,35; alors la gelée s'est prise en une masse dure et compacte. Lorsqu'on la chauffe à 62°,5, elle perd 80 p. 100 de son poids. Voici du reste quelle est sa composition, d'après une analyse de M. W. Wicke (1) :

Matières organiques.	CaO,CO^2.	MgO, CO^2.	CaO, SO^3.	Fe^2O^3, Al^2O^3.	Sable.	Somme.
24,63	57,46	1,56	6,61	2,62	7,29	100,19

Cette substance, assez exceptionnelle, est donc composée de carbonate de chaux associé à une forte proportion de matières organiques. Elle contient aussi du sulfate de chaux et un mélange de sable et d'argile. Les matières organiques paraissent avoir, au moins en partie, une origine animale.

Lignite.

M. Th. Hübener (2) a constaté, dans un lignite, l'existence d'une multitude de cristaux microscopiques de quartz, et il pense que leur formation doit être attribuée à une décomposition lente qui est opérée par de l'acide humique sur les silicates s'infiltrant dans le lignite.

PYRÉNÉES. — Divers lignites de la région des Pyrénées ont été essayés par M. Wickersheimer (3), ingénieur des mines :

A. Lignite d'un aspect terne, pris près de la surface, à Eslavar (Pyrénées-Orientales).

B. Lignite brillant de Bize (Aude). Sa densité est 1,35. Il forme 4 couches.

(1) A. Orth : *Geognostiche Durchforshung des schlesischen Schwemmlandes*, 1872, 270. — *Archives de Pharmacie*, LXXI, 138.
(2) *Poggendorff Ann.*, CL, 643.
(3) *Rapport sur les analyses faites au laboratoire de Carcassonne*, 1875-1876.

C. Lignite passant au jayet, formant des veines régulières dans un grès tertiaire, contemporain de la molasse de l'Aude ; du Bousquet (Ariége).

	Carbone et matières volatiles.	Cendres.	Eau.	Somme.
A.	60,31	29,69	10,00	100
B.	87,50	5,00	7,50	100
C.	84,50	10,50	5,00	100

D'après M. Wickersheimer, le lignite d'Eslavar présente trois couches exploitables qui fourniraient un combustible impur, mais permettant d'opérer économiquement le grillage des minerais de fer carbonaté de Prades.

Meissner. — La composition du lignite classique du Meissner et celle de ses cendres a été déterminée par M. B. Wiederstadt (1).

I. Lignite brun foncé, conservant la structure du bois.
II. Lignite noir, éclatant.
A. Cendres d'un lignite du Meissner qui en donne 3,20 p. 100.
B. Cendres d'un lignite terreux d'Oberkauffungen qui en a 7,65 p. 100.

	Densité.	C	H	O	Az	Cendres.	HO	Somme.
I. . .	1,12	51,24	4,17	32,33	0,18	1,80	10,30	100,02
II. . .	1,32	70,00	3,19	17,59	0,12	5,47	3,63	100,00

	KO	NaO	CaO	MgO	Fe^2O^3	Al^2O^3	CO^2	PhO^5	SO^3	Silice soluble	Sable et argile.	Somme
A. .	1,60	»	8,45	2,91	15,21	12,41	0,75	»	25,51	17,27	15,20	99,32
B. .	0,52	0,35	10,49	1,11	5,01	18,02	»	0,32	6,75	13,52	44,02	100,11

Le lignite noir du Meissner est beaucoup plus riche en carbone et beaucoup plus pauvre en oxygène que le lignite brun du même gisement.

Quant aux cendres, qui ont été également analysées, elles contiennent, entre autres substances utiles à connaître au point de vue agricole, des alcalis, de la chaux, de l'oxyde de fer, de l'acide sulfurique, ainsi que de l'acide phosphorique.

Tramo. — Les études de M. Pellati (2) sur les gisements de

(1) *Jahresbericht der Chemie* fur 1873, 1884.
(2) *Bollett. del comitato geolog. d'Italia*, 1873, 154 (extrait par M. A. Caillaux).

lignites dans la province de Tramo (Abruzzes), montrent que ce combustible existe dans un bassin miocène formé d'un ensemble de grès assez semblables aux macignos, de marnes et d'argiles avec veinules de gypse et sources sulfurées ou salines. Le lignite ne s'y présente qu'en amas peu étendus ou en veines minces.

ROUMANIE. — Plusieurs échantillons de lignite, provenant des gîtes de Caïutiu (district de Bacau), ont été analysées par M. Hanon (1); voici le résultat obtenu pour l'un d'eux :

CARBONE.	CENDRES.	MATIÈRES organiques.	EAU.	Somme.
54,54	25,68	2,63	17,15	100

M. Hanon a déterminé aussi le pouvoir calorifique de ce lignite; 1 kilogramme peut transformer en vapeur d'eau $3^{kil.}$,700 d'eau à 0°.

CAUCASE. — Dans la colline Ugrelei et près de la rivière Muchnori, on trouve des lignites qui ont une puissance supérieure à 20 mètres, et qui sont associés à des grès. Un minéral dur, résineux, d'un noir de velours, nommé *gischer* par les habitants, se rencontre également dans les grès; par calcination, il perd 52,5 de matières volatiles et laisse 47,5 de coke. Dans le Caucase, on emploie ce *gischer* aux mêmes usages que le jayet, et l'on en fait des objets d'ornement (2).

Houille.

Parmi les recherches de houille faites dans l'est de la France, M. Jutier, ingénieur en chef des mines, signale celle entreprise dans le Jura, à la montagne de la Serre. Le sondage a déjà dépassé 200 mètres, mais il reste encore dans des schistes rouges appartenant au terrain permien.

A Perrecy-les-Forges, on doit essayer de retrouver le prolongement des couches de houille exploitées par la compagnie de Blanzy. De même à Toulon-sur-Arroux.

DOURGES. — De nombreuses analyses de houilles, provenant des mines de Dourges (Pas-de-Calais), ont été faites au bureau d'essai de l'École des mines, sous la direction de M. Moissenet :

(1) G. Obédénare : *La Roumanie économique*, Paris, p. 20.
(2) Barbot de Marny : *Die Fortschritte d. geol. Beschreibung Russlands in d. Jahren*, 1873 et 1874, 63.

DÉSIGNATION.	Carbone fixe.	Matières volatiles.	Cendres.	Somme.	NATURE des cendres.	NATURE du coke.
Fosse Sainte-Henriette.						
La Brillante......	68,00	28,00	4,00	100	Argileuses, siliceuses et ferrugineuses......	Assez boursouflé.
Saint-Georges.....	77,00	19,00	4,00	100	Argileuses, siliceuses. .	Id.
Sainte-Cécile.....	74,40	23,60	2,00	100	Id., Id. . . .	Id.
Saint-Louis......	71,70	24,00	4,30	100	Id. et ferrugineuses.	Id.
L'Eclaireuse......	67,40	29,60	3,00	100	Id. et très-ferrugineuses.	Id.
Couche n° 5......	78,40	29,00	2,60	100	Argileuses et siliceuses.	Id.
Id. n° 6......	77,40	20,60	2,00	100	Id., Id......	Id.
Id. n° 9......	78,40	19,00	2,60	100	Id., Id......	Id.
Id. n° 10.....	72,40	26,00	1,60	100	Argileuses, siliceuses et très-ferrugineuses. . .	Id.
Fosse Mulot.						
Trois-Sillons.....	70,00	26,60	3,40	100	Argileuses et siliceuses.	Peu boursouflé.
Petite veine du Nord.	76,00	22,00	2,00	100	Id. et ferrugineuses.	Très-boursouflé.
Laplace........	72,40	25,60	2,00	100	Id., Id......	Id.
Saint-Louis......	73,00	24,60	2,40	100	Argileuses et siliceuses.	Assez boursouflé.
L'Eclaireuse......	69,00	25,00	6,00	100	Id. et très-ferrugineuses,	Id.
1re Jumelle......	69,40	29,00	1,60	100	Argileuses et siliceuses.	Id.
2e Jumelle.......	68,60	29,40	2,00	100	Id., Id......	Id.
Couche n° 9......	70,40	27,00	2,60	100	Argileuses, siliceuses et très-ferrugineuses. . .	Très-boursouflé.

Basse Sambre. — Des houilles anthraciteuses du bassin de la basse Sambre ont également été essayées au bureau d'essai de l'École des mines. Ces houilles ne donnent pas de coke, et leur composition est résumée dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION.	Carbone fixe.	Matières volatiles.	Cendres.	Somme.	NATURE DES CENDRES.
Floriffoux.					
Terre-houille, grande veine.	72,80	11,20	6,00	100	Argileuses, un peu ferrugineuses.
Terre-houille, petite veine.	70,60	10,00	19,40	100	Id. Id.
Houille, grande veine....	83,80	10,00	6,20	100	Id. Id.
Houille, petite veine.....	86,60	10,80	3,20	100	Id. Id.
Veine Plantes........	66,40	24,80	9,60	100	Id. Id.
Bois Plantes.........	77,00	20,60	2,40	100	Id. Id.
Dressant des Ruisseaux. .	81,20	13,80	5,00	100	Id. Id.
Montraille..........	66,40	9,60	24,00	100	Id. Id.
Bois Skerpia.........	36,00	9,40	54,60	100	Id. Id.
Concession de Spy.....	81,60	8,40	10,00	100	Argileuses et siliceuses.
Id..........	79,60	9,60	10,80	100	Argileuses, siliceuses et très-ferrugineuses.
Concession de Hane-sur-Sambre...........	84,40	12,00	3,60	100	Argileuses et siliceuses.
Marly, fosse Petit......	70,80	19,60	9,60	100	Id.

Anthracite.

Maine-et-Loire. — Les charbons anthraciteux et dévoniens, provenant des diverses mines du département de Maine-et-Loire,

ont été analysés par M. Brossard de Corbigny (1). Leur pouvoir calorifique a été déterminé au moyen de la quantité de plomb réduite par fusion avec la litharge, quantité qui peut, au *maximum*, s'élever à 34.

PROVENANCE.	Matières volatiles.	Carbone fixe.	Cendres.	POUVOIR calorifique
Mine de Montjean, veine Cassis. . . .	18,5	73.0	8,5	27,7
Mine du Désert, veine du Roc.	15,8	79,7	4,5	32,3
— veine du Chêne. . . .	16,3	76,1	7,6	28,3
— veine du Bocage. . .	13,0	74,0	13,0	30,0
— veine du Vouzeau. .	17,3	77,5	5,2	30,4
— veine des Noulys. . .	19,1	76,0	4,9	25,8
Mine de Layon-et-Loire. Bocage. . . .	13,2	73,4	13,4	»
— Vouzeau nord. . . .	13,5	83,1	3,4	»
— Vouzeau sud. . . .	12,2	77,8	10.0	»
Mine de St-Lambert, charbon terreux.	8,2	69.2	22,6	24,8
— très-dur.	9,1	81,8	6,1	27,0
Mine de Saint-Georges, charbon du puits St-Jacques.	18,0	70,2	11,8	»
Mine de Saint-Georges, Hermitage. .	15,8	76,8	9,4	»

On voit par le tableau précédent combien la composition de ces charbons de la basse Loire est variable et irrégulière.

Combustibles.

Asie. — M. Ferdinand de Hochstetter (2) a résumé, d'après les explorations les plus récentes, l'état de nos connaissances sur les combustibles minéraux de l'Asie.

Dans la Turquie d'Asie, on ne connaît guère que le gîte d'Eregli, qui est sur le bord méridional de la mer Noire; cependant, dans la vallée Chabur, dans le Kurdistan, M. l'ingénieur Cernik a indiqué une couche de houille de 3 mètres.

En Perse, d'après MM. Tietze et Polak, il y a dans les montagnes Alburs, et notamment au village Hif, une houille mésozoïque qui, comme celle du Caucase, appartient sans doute au lias.

Dans l'Inde, M. H. F. Blanford distingue les trois districts de la Nerbudda, du Bengale et de Godaveri. Les combustibles qu'on y exploite appartiennent au dyas et au trias, ou bien au lias et au jurassique.

Dans les Indes Néerlandaises, à Bornéo, à Sumatra, à Java, on trouve des lignites tertiaires qui sont, dans certains cas, de très-bonne qualité.

D'après M. Barbot de Marny, la Russie d'Asie contient des combustibles qui appartiennent à divers terrains :

(1) *Annuaire de l'Institut des provinces*, 23, vol. 1871, 275.
(2) *Asien, seine Zukunftsbahnen und seine, Kohlenschätze* 1876.

1° Ceux du terrain carbonifère :

a Sur le flanc oriental de l'Oural, près de Kamenskoï; *b* à Kusnetzk, dans l'Altaï; *c* sur les bords du Nischne Tunguska, l'un des affluents du Ienissei, en Sibérie; *d* dans la steppe des Kirghis, district de Semipalatinsk.

2° Ceux du terrain jurassique :

a Dans le Kouban et le Dagestan, sur le flanc nord du Caucase; *b* dans le bassin de Tquirbul, sur le flanc sud du Caucase; *c* dans la péninsule Mangyschlak, sur la mer Caspienne; *d* dans le gouvernement d'Orenbourg; *e* dans le Turkestan, dans le bassin du Sir Daria et dans les montagnes Karatan; *f* à Chodschend; *g* dans le Kokan; *h* à Sergiopol, dans le district Siebenstromland; *i* à Kuldschatud Ili; *k* à Irkutsk; *l* à Argun, dans le territoire situé au delà du lac Baïkal.

3° Ceux du terrain tertiaire :

a. Dans le district Turgai, dans la steppe des Kirghis; *b*. dans l'île Sachalin.

En Chine, les combustibles minéraux forment des bassins étendus et d'une grande importance; ils ont été étudiés par MM. Pumpelly, A. Williamson, et surtout par M. de Richthofen.

Les bassins méridionaux s'étendent au sud de la ligne de partage des eaux du Kwang-ho et du Yang-tsze-Kiang. Ils sont très-vastes dans la province Sztschwan (Pays des quatre Rivières), et la houille, qui est bitumineuse à l'ouest et au nord, est remplacée par une sorte d'anthracite à l'est et au sud.

Dans le Jünnan, à la frontière sud-ouest de la Chine, on a encore de l'anthracite. Les combustibles de ces premiers bassins paraissent appartenir au trias ou au lias, comme cela a lieu pour une partie des bassins de l'Inde. La houille du terrain carbonifère se trouve cependant au sud de la Chine, dans la province Hunan. Son exploitation fournit aux besoins de la province Hupé, qui est si peuplée, et à ceux d'une grande partie de la Chine centrale.

Les bassins septentrionaux sont très-développés soit dans le Schansi, soit dans le Schensi : dans ces deux provinces, ils fournissent de l'anthracite à l'est et de la houille bitumineuse à l'ouest. On a également de l'anthracite dans le Honan, à Tatung-fu et à Schi-men-tsai. A Tschiti et à Schingking, il y a de petits bassins qui appartiennent au lias. Les bassins septentrionaux de la Chine se continuent vers l'ouest jusqu'aux déserts de la haute Asie, tandis que, vers le nord, ils s'étendent jusque dans la Mandchourie et aux limites de la Corée.

M. de Richthofen regarde la richesse de la Chine en combusti-

bles minéraux comme exceptionnelle, et analogue à celle de l'Amérique du Nord.

Les parties du globe les mieux pourvues de combustibles sont donc le versant oriental de l'ancien et du nouveau continent; il faut sans doute l'attribuer à ce que ce versant restait très-humide à toutes les époques géologiques; car il était toujours arrosé par des pluies abondantes qu'apportaient les vents alisés fortement chargés de vapeur d'eau, par suite de leur traversée sur deux grands Océans.

Passant aux îles qui avoisinent la Chine et la côte orientale de l'Asie, M. de Hochstetter indique, dans le nord de l'île de Formose, un petit bassin qui est probablement mésozoïque.

Au Japon, M. de Richthofen mentionne des gîtes de combustibles minéraux, qui se trouvent surtout dans le sud-ouest. Ainsi, de l'anthracite, d'excellente qualité, est exploitée dans l'île Amakusa. Des charbons bitumineux se rencontrent sur différents points, notamment à Takashima, et, d'après les feuilles de dicotylédonées qu'ils contiennent, ils sont vraisemblablement tertiaires.

Terres végétales.

GENEVRAYE. — Le sol et le sous-sol de la Genevraye, canton de Nemours (Seine-et-Marne), ont été analysés au bureau d'essai de l'École des mines :

	PARTIE INSOLUBLE dans les acides.			PARTIE SOLUBLE dans les acides.							EAU et matières organiques.	SOMME.
	Gros sable	Sable fin.	Argile.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	CaO,SO^3	CaO,PhO^5	KO		
Sol . . .	3,00	39,00	18,00	1,30	2,75	29,30	1,25	0,20	traces	traces	4,70	99,50
Sous-sol.	53,00			0,70	1,60	41,00	0,90	traces	traces	traces	2,50	9 70

Comme d'habitude, ce sol, qui recouvre un travertin, renferme beaucoup moins de carbonate de chaux que son sous-sol.

MEUSE. — Plusieurs terres végétales du département de la Meuse, prises par M. Poincarré, ingénieur des ponts et chaussées, dans des conditions de gisement bien connues, ont été analysées sous la direction de M. Moissenet, au bureau d'essai de l'École des mines.

A Terre arable du plateau à l'Est du village de Behonne près Bar-le-Duc, sur un sous-sol de calcaire portlandien.
B Terre arable entre la ville de Bar-le-Duc et le bois du Haut-Juré, sur un sous-sol de calcaire portlandien.
C Terre arable près du village de Veel, sur un sous-sol de terrain néocomien.
D Terre arable au pied des coteaux de gaize, à 1 kilomètre au Nord-Ouest de Clermont, sur un sous-sol de sables verts glauconieux.
E Terre arable au sud de Clermont, vers la cote 295 mètres, derrière le télégraphe, sur la gaize.

	Argile et sable.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	CaO,SO^3	Eau et matières organiques.	Somme.
A. .	83,50	2,40	4,70	1,70	0,30	»	7,20	99,80
B. .	70,50	3,60	6,70	9,00	0,80	traces	9,20	99,80
C. .	73,80	3,00	5,40	8,30	1,40	0,12	7,60	99,62
D. .	90,40	1,10	2,00	1,80	0,50	»	4,00	99,80
E. .	80,20	1,00	1,70	9,20	0,90	traces	6,70	99,70

Bien que provenant d'une région essentiellement calcaire, ces terres végétales n'ont pas beaucoup de carbonate de chaux. Toutes laissent un résidu insoluble considérable, particulièrement celles qui se trouvent sur les sables verts glauconieux.

Bar-le-Duc. — Le Bureau d'essai de l'École des mines a encore analysé une terre végétale alluviale, prise dans un verger de la vallée de l'Ornain, en amont de Bar-le-Duc (Meuse). Cette vallée, qui est rarement inondée, possède un sous-sol de gravier.

Argile et sable.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	CaO,SO^3	Eau et matières organiques.	Somme.
34,70	2,30	3,80	53,60	0,80	0,15	4,50	99,85

Montvert. — Une terre du vignoble de Montvert, commune de Montauban (Tarn-et-Garonne), analysée au Bureau d'essai de l'École des mines, a donné :

Partie insoluble dans les acides.			Partie soluble dans les acides.								
Gros sable.	Sable fin.	Argile.	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	CaO,SO^3	$3CaO,PhO^5$	KO	Eau et matières organiques.	Somme.
9,00	86,00	»	0,60	2,00	0,30	traces	absence	traces	traces	2,00	99,90

Auvergne. — M. Truchot (1) a fait des analyses comparatives

(1) *Observations sur la composition des terres arables de l'Auvergne.*

des terres granitiques de l'Auvergne (A_1 A_2 A_3 A_4 A_5), ainsi que des terres d'alluvion de la Limagne (B_1, B_2) :

A_1 Bourgnon (canton de Saint-Dier).
A_2 Bourgnon (canton de Saint-Dier).
A_3 Chalagnat (canton d'Ardes).
A_4 Chéry (canton de Sauxillanges).
A_5 Sugères (canton de Saint-Dier).
B_1 Saint-Bonnet.
B_2 Mont-Désir près Clermont.

	ANALYSE physique.			ANALYSE CHIMIQUE.									
	Pierres.	Sable.	Argile et sable fin.	PhO^5	KO	CaO	LiO,CO^2	MgO	Cl	Fe^2O^3 et Al^2O^3	Carbone des matières organiques.	Az	Résidu inattaquable par HCl.
A_1	45,20	46,63	8,17	0,09	0,10	traces	»	traces	»	8,00	1,58	0,07	83,5
A_2	36,20	55,93	7,87	0,10	0,05	0,11	»	traces	»	8,45	2,46	0,18	84,1
A_3	50,00	27,50	22,50	0,04	0,18	0,09	»	0,84	»	5,90	0,65	0,05	88,0
A_4	44,10	22,80	33,10	0,02	0,11	traces	»	0,23	»	3,41	0,98	0,03	92,7
A_5	8,00	75,53	16,47	0,03	0,71	traces	»	0,33	»	4,26	»	»	90,4
B_1	»	35,00	65,00	0,27	0,65	16,56	0,06	1,14	0,01	14,00	1,80	0,19	43,7
B_2	2,20	42,00	55,80	0,30	0,55	9,97	0,09	1,85	0,07	13,10	1,15	0,31	57,8

On peut constater que les terres granitiques sont pauvres en acide phosphorique et en chaux, même lorsqu'elles ont été chaulées, mais que la potasse s'y trouve en proportion notable.

Les terres de transport, formant le sol de la Limagne, proviennent de la destruction des diverses roches de l'Auvergne. Elles se distinguent par une forte proportion d'acide phosphorique et de potasse; de plus, elles sont riches en oxyde de fer et bien pourvues de chaux, ainsi que de magnésie. Elles sont aussi caractérisées par la présence d'un peu de lithine.

GENÈVE. — On trouve dans le canton de Genève un sable d'origine récente, de couleur jaune, nommé communément *sablon pourri*. M. Risler (1) a examiné comparativement la terre végétale (I) prise à la profondeur de $0^m,20$ et provenant de la transformation du *sablon pourri*, (II) formant le sous-sol d'une pépinière de Malagnou :

(1) *Journal de la Société d'agriculture de la Suisse romande*, 1875.

	Densité.	Pouvoir absorbant pour l'eau.	ANALYSE physique. Pierres.	Sable.	Argile.	ANALYSE CHIMIQUE. Partie attaquable par l'eau régale. Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	PhO^5	CO^2	Matières organiques.	Eau combinée.	Az	Partie inattaquable par l'eau régale.
I	2,48	32,3	2,76	74,77	22,47	2,20	2,56	12,73	1,44	0,27	0,08	0,12	10,31	3,25	1,21	0,17	65,84
II	2,50	20,5	0,21	79,00	20,79	1,71	2,18	17,37	1,92	0,17	0,04	0,09	14,83	0,69	?	0,03	61,00

Ce *sablon pourri*, dans son état naturel, est considéré comme très-infertile; mais sa composition peut être avantageusement modifiée par l'addition d'engrais, comme le montrent les deux analyses précédentes.

Sion. — Deux terres prises dans les vignobles de Sion ont encore été étudiées par M. E. Risler (1). A est formée d'une forte proportion de schistes lustrés gris, dits *brisés du Valais;* B est sablo-argileuse, et son origine paraît être glaciaire.

	POIDS spécifique.	POUVOIR absorbant pour l'eau.	PIERRES.	SABLE.	ARGILE.	SOMME.
A. .	2,60	14,5	47,44	40,31	12,25	100
B. .	2,59	32,6	0,44	84,64	14,92	100

	EAU combinée, matières organiques et perte.	PARTIE attaquable par l'eau régale. Al^2O^3.	Fe^2O^3.	MgO.	CaO.	NaO.	KO.	PhO^5.	CO^2.	PARTIE inattaquable.
A. .	4,65	2,10	3,92	1,40	6,80	0,09	0,16	0,12	5,50	75,26
B. .	3,89	2,08	3,48	1,76	7,22	0,09	0,12	0,06	5,54	75,76

On voit que la terre A contient plus de potasse et d'acide phosphorique attaquables que la terre B; elle est d'ailleurs considérée comme étant de meilleure qualité.

Nebraska. — A la suite de l'exploration du Nebraska par M. le Dr Hayden (2), différentes terres d'alluvion, déposées par des rivières de cette contrée, ont été analysées par M. Samuel Aughey :

(1) *Journal de la Société d'agriculture de la Suisse romande.*, 1875.
(2) Hayden : *Geological and geographical Survey:* Washington, 1876, 256.

A Provient de l'Elkhorn;
B De la rivière Platte;
C Du Républicain;
D De la rivière Bleue.

	Résidu insoluble (siliceux).	Fe^2O^3.	Al^2O^3.	CaO, CO^2.	3CaO, PhO^5	MgO, CO^2.	KO.	NaO.	SO^3.	Matières organiques.	Perte.	Somme.
A. .	63,07	2,85	8,41	7,08	0,90	1,41	0,50	0,49	0,79	14,00	0,50	100
B. .	63,70	2,25	7,76	7,99	0,85	1,45	0,54	0,52	0,70	13,45	0,79	100
C .	63,01	2,40	8,36	8,01	0,99	1,39	0,61	0,54	0,71	13,01	0,97	100
D. .	62,99	2,47	8,08	7,85	0,94	1,40	0,67	0,58	0,79	13,27	0,96	100

Ces terres d'alluvion du Nebraska présentent peu de différences dans leur composition chimique. Elles diffèrent du loess de la même région par une moindre proportion de silice, plus d'alumine et surtout plus de matières organiques. On trouvera plus loin l'analyse de ce loess.

On rencontre fréquemment dans les terres d'alluvions du Nebraska des bois qui ont été charriés pendant les époques d'inondations; dans certains endroits marécageux, la matière organique devient même tellement abondante, que la terre peut passer à une tourbe impure.

El Oued. — Les oasis du Souf, dans lesquelles les Arabes cultivent les palmiers donnant les dattes les plus renommées, présentent une terre végétale sableuse, dont la composition a été déterminée par M. H. Le Chatelier (1) :

Sable quartzeux	85
Carbonate de chaux	10
A reporter	95
Report	95
Sulfate de chaux	2
Eau et matière organique	3
Somme	100

Cette terre n'est pas riche en matières organiques et elle contient 2 pour 100 de sulfate de chaux. Du reste, le gypse est fréquent dans toute la région; près du village Ez Goum, le sous-sol est même formé par un sable ayant 3 mètres d'épaisseur et contenant des cristaux de gypse sableux, lequel repose lui-même sur un banc de gypse.

Saint-Paul.— Une terre végétale, dite *Terra rota*, de la province de Saint-Paul (Brésil), a été analysée au Bureau d'essai de l'École des mines.

(1) *Rapport sur le projet de créer une mer intérieure en Algérie.*

Quartz et silice.	Al^2O^3.	Fe^2O^3.	CaO.	MgO.	Alcalis.	PhO^5.	TiO^2.	VaO^5.	CO^2.	HO.	Matières organiques.	AzH^3.	Somme.
13,30	23,50	47,60	0,80	0,30	traces	0,12	2,40	traces notables	0,25	11,50	0,10	traces	99,87

Cette terre est très-renommée pour la culture du caféier, et il est assez remarquable qu'elle contienne presque moitié de son poids d'oxyde de fer ainsi que des traces d'acide vanadique.

Terre noire.

D'après M. Ruprecht (1), la terre noire de la Russie, ou *Tchernoisem*, s'est formée sur place par l'accumulation des débris laissés par la végétation des steppes; les forêts et les marais tourbeux n'auraient pas contribué à sa production. Toutefois, M. M. Bogdanow (2) pense qu'elle continue encore à se former et qu'elle peut résulter aussi de la végétation des forêts.

L'épaisseur, la couleur, la composition et la nature du *Tchernoisem* sont variables et dépendent entièrement du sous-sol. Sur la craie blanche, il est maigre et mince; sur les argiles jurassiques et tertiaires, il est gras, plastique, et atteint sa plus grande épaisseur.

Suivant M. Modeste Bogdanow, les couches du *Tchernoisem* qui ne sont pas remaniées auraient une épaisseur qui ne dépasserait pas $1^m,80$.

Le *Tchernoisem* n'appartient pas exclusivement à la Russie. On le trouve en Allemagne, en Moravie, en Transylvanie, ainsi que sur les chaînes de l'Altaï, du Tian Chan et du Caucase, où il se rencontre jusqu'à la hauteur de 3.000 mètres. M. Alexandre Wojeikow a même reconnu sa présence dans l'Amérique du Nord, dans les parties supérieures du bassin du Mississipi, jusqu'aux montagnes Rocheuses et à la région des grands Lacs.

En Russie, le *Tchernoisem*, non remanié, ne s'observe jamais à une altitude inférieure à 170 mètres.

En résumé, le *Tchernoisem* résulte de la décomposition des plantes terrestres, et son épaisseur montre qu'il occupe une région émergée depuis longtemps. Cette émersion, d'après M. M. Bogdanow, date de la fin ou peut-être du milieu de l'époque tertiaire. L'absence du *Tchernoisem* dans le désert Aralo-Caspien, et au nord, dans la région des blocs erratiques, pourrait d'ail-

(1) *Revue de géologie*, XIII, 34.
(2) *Association scientifique de France*, 1876, n° 450, 164.

leurs s'expliquer en admettant que ces deux contrées étaient encore sous la mer à une époque géologiquement peu éloignée.

Comparaison des quantités de carbone et d'azote dans les terres végétales.

Des analyses ont été faites par M. Truchot (1) dans le but de comparer les quantités de carbone et d'azote que contiennent les matières organiques des terres végétales de l'Auvergne, formées aux dépens de divers terrains.

DÉSIGNATION DE LA TERRE.	TERRAIN.	CARBONE.	AZOTE.
A. Terres de prairies non fumées.			
Theix	Granitique.	14,80	0,69
Besse (*)	Volcanique.	11,88	0,94
Puy de-Dôme (**)	Id.	10,05	0,73
Puy-de-Dôme (***)	Id.	2,34	0,24
Royat	Granitique.	6,12	0,45
B. Terres fumées.			
Ceyrat	Volcanique.	3,84	0,32
Saint-Jacques	Id.	2,69	0,25
Ravel	Calcaréo-marneux.	2,34	0,12
Saint-Bonnet	Alluvien.	1,80	0,19
Sarliève	Id.	1,24	0,23
Saint-Mandé	Granitique.	0,52	0,05

(*) Terre pacagée. — (**) Terre fertile. — (***) Terre stérile.

On voit que les terres non fumées, telles que celles cultivées en prairies, peuvent être beaucoup plus riches en carbone et en azote que les terres fumées.

De plus, conformément aux résultats obtenus déjà par MM. Boussingault et Dehérain, la quantité d'azote trouvée dans ces terres varie à peu près proportionnellement à celle du carbone de leurs matières organiques.

Roches diverses.

Soufre.

M. Jules Brunfaut (2) a publié de nombreux détails sur l'exploitation des soufres en Italie, après avoir exposé rapidement la description topographique et géologique des gisements, et après avoir parlé du soufre du bassin d'Apt, dans le département de Vaucluse.

(1) *Observations sur la composition des terres arables de l'Auvergne* (Dehérain, *Ann. agronomiques.*)
(2) *De l'exploitation des soufres.* Paris, 1874.

Eaux.

Les analyses des eaux étant extrêmement nombreuses, nous mentionnerons surtout celles qui offrent de l'intérêt au point de vue géologique, renvoyant pour les autres au *Jahresbericht der Chemie*, publié par MM. Alexandre Naumann, F. Nies et leurs collaborateurs.

Eaux douces.

SAINT-NAZAIRE. — L'eau d'un puits artésien, foré par M. Lippmann, à Saint-Nazaire, a été analysée par M. Bobierre (1). Sa densité est 1,002. Elle marque 85° à l'hydrotimètre, et donne par l'évaporation un résidu jaunâtre, pesant 2g,206 par litre, et contenant :

Silice et alumine soluble dans l'acide chlorhydrique. . .	0g,134
Acide sulfurique.	0 ,006
Chlore.	0 ,944
Chaux.	0 ,100
Magnésie.	0 ,130

L'abondance du chlore et de la magnésie indique clairement que cette eau coule à travers des couches déposées par la mer, ce qui s'accorde du reste avec la coupe du sondage (2).

NANTES. — En essayant des eaux provenant de divers puits de Nantes, M. Bobierre (3) a reconnu qu'elles varient beaucoup avec le quartier, ainsi qu'on l'avait constaté dans des recherches antérieures, notamment dans celles faites par M. Delesse sur la Ville de Paris. Habituellement le carbonate de chaux n'existe pas en proportion notable dans les eaux de Nantes, mais elles contiennent beaucoup de chlorure de sodium et de magnésium, que le voisinage de la mer suffit d'ailleurs à expliquer. Toutes contiennent du silicate de potasse, qui doit être attribué aux roches granitiques à travers lesquelles elles s'infiltrent; aussi lorsqu'on les évapore aux trois quarts de leur volume, elles donnent un dépôt de silice et en même temps elles deviennent légèrement alcalines.

CHANTILLY. — Un sondage ait par M. Lippmann, dans le domaine de Chantilly (Oise), arrêté dans les sables inférieurs de l'argile plastique, a donné une eau séléniteuse. Le résidu laissé

(1) Laboratoire de chimie agricole de la Loire-Inférieure, 1850-1875, 389.
(2) *Revue de géologie*, XIII, 210.
(3) Laboratoire de chimie agricole de la Loire-Inférieure, 1850-1875, 387.

par l'évaporation d'un litre de cette eau présente la composition suivante, d'après M. Landrin :

CaO,SO^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	NaCl	SiO^2	Fe^2O^3	Matières organiques.	Résidu.
0,401	0,224	0,008	0,029	0,025	0,011	0,095	0,793

Dans ce même sondage M. Lippmann, ayant essayé à l'hydrotimètre la nappe du calcaire grossier, a trouvé qu'elle marquait seulement 42°, tandis que celle résultant du mélange des nappes marque jusqu'à 68°. Cette grande différence est attribuée, par M. Lippmann, à ce que l'hydrogène sulfuré de l'eau de sables ligniteux de l'argile plastique forme du sulfate de chaux en réagissant sur les calcaires; on conçoit, d'après cela, qu'on obtiendrait une eau beaucoup plus pure, si l'on coulait du béton autour des tubes du sondage, de manière à prendre seulement la nappe du fond; car l'hydrogène sulfuré qu'elle renferme se dégagerait promptement dans l'air, par suite de l'agitation due à son écoulement à la surface du sol.

Landes, Chalosse. — Comme l'observent MM. Eugène Jacquot et V. Raulin (1), les eaux qui coulent sur l'alios et dans le sable quartzeux des Landes ont une composition toute différente de celles qui, dans la Chalosse, s'infiltrent dans les sables fauves et calcaires de la molasse à Cardita Jouanneti. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer les analyses des eaux provenant des puits des Grandes-Landes (A, A'), qui ont été faites par M. Hervé Mangon au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, avec celles des sources de Bastennes (B) et de Saint-Sever (B') dans la Chalosse, qui ont été faites dans le laboratoire de Bordeaux :

(1) *Statistique géologique et agronomique du département des Landes*, 180.

LANDES.	A.	A'.
	grammes.	grammes.
Eau combinée et matières organiques	0,0490	0,0266
Silice insoluble dans les acides faibles	0,0039	0,0082
Silice soluble	0,0254	0,0058
Alumine, peroxyde de fer, traces de phosphore	0,0117	0,0117
Chaux	0,0900	0,0575
Magnésie	0,0083	0,0054
Alcalis, principalement la soude	0,1802	0,0066
Acide sulfurique	0,0690	0,0214
Acide chlorhydrique	0,2055	0,0229
Acide carbonique et matières non dosées	0,0250	0,0229
Somme	0,6680	0,1890
	centim. c.	centim. c.
Acide carbonique	6,088	9,319
Azote	10.175	13,216
Oxygène	2,188	1,416
Somme des gaz	18,451	23,951

CHALOSSE.	B.	B'.
	grammes.	grammes.
Carbonate de chaux	0,126	0,114
Carbonate de magnésie	0,034	0,012
Silice et sulfate de chaux	0,014	0,024
Alumine, oxyde de fer et phosphates	0,005	traces
Sels solubles	0,046	0,134
Somme	0,225	0,284

L'eau des Landes A présente une saveur crue, désagréable, contient beaucoup de sel marin et n'a pas moins de 7^{mg},48 d'ammoniaque libre par litre d'eau. A', qui est fortement colorée en jaune et qui possède une saveur styptique, contient 0^{mg},60 d'ammoniaque. Ces eaux se distinguent surtout par la présence de matières organiques et par l'absence du carbonate de chaux qu'on trouve, au contraire, en quantité notable dans les eaux de la Chalosse (B, B'). Les eaux des Landes marquent habituellement à l'hydrotimètre un degré moins élevé que les eaux de la Chalosse, ce qui s'explique du reste facilement, puisque ces dernières coulent sur des roches calcaires.

ALPINES, RHÔNE. — Diverses sources de la région calcaire des Alpines, ainsi que l'eau, filtrant dans les graviers du Rhône inférieur, ont été analysées par M. P. de Gasparin (1).

I Source du Paradou, sur le revers méridional des Alpines, qui est assez abondante pour faire tourner un moulin à sa sortie.

(1) *Mémoires publiés par la Société centrale d'agriculture de France*, 1875, p. 211.

II Source de Rougetty, de la plaine au nord-est des Alpines.

III Source de Fontenille, émergeant à l'extrémité occidentale de la chaîne des Alpines, à une cinquantaine de mètres au-dessus du niveau de la mer, vers la limite du terrain néocomien et de la molasse.

IV Eau filtrant à travers les graviers du Rhône et élevée pour le service de la ville de Tarascon.

Les résultats obtenus sont relatifs aux matières minérales seulement, exprimés en milligrammes et rapportés à 1 litre :

	I.	II.	III.	IV.
	milligram.	milligram.	milligram.	milligram.
Acide silicique	7,90	8,30	7,00	7,80
Acide phosphorique	0,34	0,21	0,20	traces
Acide sulfurique	2,90	83,90	1,50	70,95
Acide chlorhydrique	7,40	18,40	6,40	28,60
Acide carbonique	211,20	275,60	294,00	197,80
Chaux	126,50	223,80	180,70	141,70
Magnésie	5,60	7,10	5,40	24,20
Soude	6.30	15,60	5,50	27,50
Potasse	0,90	4,90	6,70	24,30
Somme	369,04	637,81	507,40	522,85

Remarquons avec M. de Gasparin que toutes ces eaux de la région des Alpines contiennent de l'acide phosphorique et de la potasse qui doivent contribuer à les rendre fertilisantes. Elles contiennent également une proportion assez forte de bicarbonate de chaux, dont la présence s'explique aisément, puisqu'elles coulent à travers des terrains essentiellement calcaires. Elles renferment aussi de la magnésie, de la silice, du chlorure de sodium et surtout du sulfate de chaux qui est même assez abondant pour les rendre séléniteuses; ces dernières substances existent d'ailleurs soit dans les eaux atmosphériques, soit surtout dans les terrains à travers lesquels coulent les eaux des Alpines.

Observons enfin que l'eau (IV) prise dans les graviers du Rhône, à Tarascon, ne saurait être considérée comme étant de l'eau du fleuve; elle appartient, en effet, à la nappe d'infiltration qui descend souterrainement des collines avoisinant les rives du Rhône. Du reste les eaux des nappes d'infiltration de la Seine et de la Marne sont également beaucoup moins pures que celles de ces deux fleuves, lors même qu'elles sont puisées immédiatement sur leurs bords; c'est, en particulier, ce qui résulte de leur essai hydrotimétrique. (Cartes hydrologiques de la Ville de Paris et du Département de la Seine.)

Eaux minérales.

SAINT-CLÉMENT. — En creusant un puits artésien à Saint-Clé-

ment-Oxford, on a rencontré une eau minérale dont l'analyse a été faite par M. Donkin (1). 100.000 parties de cette eau contiennent :

NaCl	NaO,SO³	CaO,SO³	CaO,CO²	Mg,Cl	SiO²	AzH³	Somme.
1069,0	510,9	193,1	10,9	38,9	1,8	0,1	1824,7

Il y a en outre des traces de potasse, de fer et d'alumine.

Cette eau a une densité de 1,01462. L'analyse montre qu'elle est saline et remarquable par sa grande proportion de sulfates ; elle est d'ailleurs analogue aux eaux minérales anglaises de Cheltenham et de Leamington, qui, d'après M. Prestwich, proviennent, comme elle, du New red Sandstone.

M. J. Prestwich ajoute que diverses sources minérales du continent ont le même gisement et proviennent aussi du trias. Parmi les plus importantes, il cite celles de Kissingen, de Rehme, de Friederichshall, qui sont utilisées pour fabriquer du sulfate de soude ; celle de Mézières, qui, vers la profondeur de 140 mètres, a été rencontrée dans le grès bigarré.

EUGÉNIE-LES-BAINS. — Les eaux minérales salines de Saint-Loubouer ou d'Eugénie-les-Bains sont, d'après MM. Eugène Jacquot et V. Raulin (2), des sources artésiennes naturelles qui, de même que celles de Barbotan et de Castera, émergent entre des plissements de la craie. Voici la composition de l'une d'elles qui a été déterminée par Réveil :

	grammes.
Sulfure de calcium	0,003433
Sulfure de fer	traces
Hyposulfite de chaux	0,003610
Chlorure de sodium	0,024861
Chlorure de potassium	traces
Sulfate de chaux	0,011679
Silicate de soude	0,035200
Iodure de sodium	traces
Chlorure de calcium	traces
Carbonate de soude	0,084660
Carbonate de lithine	traces
Carbonate d'ammoniaque	0,000636
Bicarbonate de chaux	0,072138
Bicarbonate de magnésie	0,048320
A reporter	0,284537

(1) J. Prestwitch M. A. F. R. S. : *On the mineral water*, 1876.
(2) *Statistique géologique et agronomique du département des Landes*, 1218.

	grammes.
Report	0,284537
Arséniate de soude	traces
Phosphate de chaux	traces
Phosphate de magnésie	traces
Borate de soude	traces
Matières organiques	0,037000
Somme	0,321537
Azote	17 cent. cubes.
Oxygène et acide carbonique	traces

Cette eau d'Eugénie-les-Bains a une densité de 1,0015; elle contient un sulfure qui doit provenir de la réduction de son sulfate de chaux par les matières organiques; elle renferme une assez grande quantité de magnésie qui a sans doute été fournie par les dolomies du crétacé supérieur des Pyrénées.

BELLEVILLE. — La source sulfureuse qu'un sondage avait fait découvrir à Belleville (Paris) a été captée par M. Léon Dru (1). Pour effectuer cette opération, on a creusé un puits ayant un diamètre de 1m,40 et des barbacanes ouvertes dans les parois ont permis l'introduction des filets d'eau sulfureuse. Il a été facile de bien constater dans ce puits qu'il y a du gypse dans le calcaire lacustre de Saint-Ouen, au-dessous des marnes à bithynies et à cyclostomes, et qu'il y en a également dans l'étage des sables moyens, au-dessous du calcaire gris bleuâtre avec l'*Avicula fragilis*. Les cartes géologiques souterraines de la Ville de Paris et du Département de la Seine indiquaient d'ailleurs du gypse, formant des couches soit dans le calcaire lacustre, soit dans les sables moyens, et comme il alterne avec des marnes ligniteuses, on conçoit que sa réduction par des matières organiques puisse engendrer des eaux sulfureuses.

A Belleville, en particulier, ces eaux sont surtout sur un banc de calcaire grésiforme, très-dur, qui est à la cote 25m,28 au-dessus du niveau de la mer, et qui appartient à l'étage des sables moyens.

Plusieurs analyses de l'eau sulfureuse de Belleville ont été faites par M. Weil, et nous donnons ici la composition de l'un des filets captés; il fournit une eau ne marquant pas moins de 20° au sulfhydromètre, pesant 1.002gr,39 au litre et laissant, par évaporation et calcination, un résidu fixe de 2gr,625 :

(1) *Rapport sur le régime de la source des eaux sulfureuses de Belleville*. 1876.

	grammes.
Acide sulfhydrique libre	0.010999
Acide sulfhydrique combiné	0,002518
Sulfate de chaux	1,976114
Sulfate de magnésie	0,518970
Bicarbonate de chaux	0,127602
Bicarbonate de fer	0,006746
Chlorure de sodium avec traces de potassium	0,077568
Chlorure de lithium	traces
Matière organique azotée	0.070000
Acide carbonique en excès sur celui des bicarbonates	0,080000
Azote libre	traces
Somme	2,870517

L'eau minérale sulfureuse de Belleville ne contient ni acide phosphorique ni ammoniaque; par conséquent elle ne provient pas de la décomposition du sulfate de chaux par des matières organiques animales, mais bien par les couches ligniteuses qui lui sont associées, en sorte qu'elle a une origine analogue à celle de l'eau d'Enghien. On commence à l'utiliser dans la médecine.

Lostorf. — M. G. Brigel (1) a analysé l'eau sulfureuse de Lostorf, dans le Jura soleurois :

KO,SO^3	KO,SO	KS	NaCl	CaO,CO^2	MgO,CO^2	FeO,CO^2	PhO^5	Al^2O^3	SiO^2	Somme.	CO^2 à demi combiné.	HS à demi combiné.
gr. .6714	0,0734	0,3284	3,0200	0,3425	0,2048	0,0087	traces	0,0130	0,0226	gr. 4,6848	0,1310	0,0911

Le gaz qui se dégage de la source contient, sur 100 volumes, 91,9 d'azote et 8,1 d'oxygène, ainsi que des traces d'hydrogène sulfuré et d'acide carbonique.

Ferentino. — Une eau minérale sulfureuse de Ferentino, province de Rome, a été analysée par MM. les professeurs Baccelli et De Santis (2). Elle vient dans le travertin et sa température se maintient constamment à 16°. Un litre de cette eau donne, par évaporation, un résidu de 2gr,415, qui présente la composition suivante :

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1240.
(2) *R. Comitato geologico d'Italia*, 1876, 375.

	grammes.
Carbonate de chaux	0,825
Sulfate de chaux	0,386
Id. de potasse	0,010
Id. de soude	0,378
Id. de magnésie	0,309
Chlorure de magnésium	0,191
Silice	0,016
Oxyde de fer, alumine et matière organique	0,300
Somme	2,415

On y a trouvé aussi de petites quantités de brome et d'iode.

Les gaz dissous dans 1 litre de l'eau de Ferentino, étant ramenés à la température de 0° et à la pression de 760 millimètres, s'élevaient à

Acide carbonique	568	588 cent. cubes.
Acide sulfhydrique	20	

Très-abondante, la source de Ferentino, est connue dans le pays sous le nom caractéristique de *Fontana Olente*, et laisse constamment dégager de grosses bulles des deux gaz qu'elle contient.

HOMBOURG, HELMSTEDT. — M. R. Fresenius (1) a analysé les eaux minérales si connues de Hombourg et de Helmstedt.

A Source de Hombourg donnant par minute 1,5 litre d'eau ayant une densité de 1,007080 et une température de 11°. Elle dégage un gaz dont la composition en volume est de 87,57 acide carbonique, 12,07 azote et 0,36 hydrogène carboné avec des traces d'hydrogène sulfuré. L'analyse y révèle des traces de cœsium, du rubidium, d'alumine, du cuivre, d'antimoine, d'arsenic et de bore.

B Source Charles, des bains de Helmstedt; elle débite par minute 10,81 litres d'eau, ayant une densité de 1,000038 et une température de 11°; outre les substances données ci-dessous, on y trouve des traces d'azote et d'hydrogène sulfuré.

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1236 et 1238.

NaCl	KCl	LiCl	AzH^4,Cl	CaCl	MgCl	MgI	MgBr	KO,AzO^5	NaO,AzO^5
,863199	0,248320	0,012067	0,013187	0,497721	0,315457	0,000015	0,000676	0,001874	»
,026189	»	»	»	»	»	»	»	0,011244	0,003126

AzH^4O, AzO^5	KO,SO^3	CaO,SO^3	StO,SO^3	BaO,SO^3	Phosphate d'alumine.	$CaO, 2CO^2$	$MgO, 2CO^2$	$FeO, 2CO^2$	$MnO, 2CO^2$
»	»	0,003725	0,010616	0,000420	»	0,722479	0,061417	0.071385	0,004054
,000593	0,004740	0,017350	traces	0,000143	0,000021	0,006650	0,007440	0.018553	0,000251

$CaO, NiO, 2CO^2$	$3CaO, PhO^5$	SiO^2	SUBSTANCES organiques		Somme des parties solides.	CO^2 à demi-combiné.	CO^2 libre.	HS	Somme totale.
			résineuses.	humiques.					
,000024	0,001017	0,017190	»	»	7.844843	0,378699	2,042990	0,00C671	10,267203
»	0,000679	0,009183	0,000389	0,003451	0,110002	0,013956	0,083968	traces	0,207926

Groenland. — M. G. C. Laube (1), dans son voyage sur la Hansa, a rapporté une eau d'Unortok, dans le Groënland méridional; elle a une densité de 1,000967 et une température de 5°,6; son analyse a été faite par M. W. Gintl :

CaO,SO^3	CaCl	MgCl	KCl	NaCl	SiO^2	Somme.
0.125251	0,206285	0,011008	0,040283	0,589138	0,052600	1,024565

Cette eau d'Unortok contenait encore du fer, de l'alumine, ainsi que de l'acide carbonique, mais on s'est borné à leur détermination qualitative. Elle sort d'un bassin hydrographique constitué par du sable granitique, et elle forme un dépôt qui est dur et blanchâtre.

Oued Djeddi. — En creusant un puits de 8 mètres de profondeur dans la delta de l'Oued Djeddi (province de Constantine), M. H. Le Chatelier (2) a rencontré une nappe d'eau salée dont il a déterminé la composition :

Eau.	NaCl	MgCl	MgO,SO^3	CaO,SO^3	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Sable et marne.	Somme.
93.46	4,09	0,39	1,12	0,34	0,14	0,09	0,37	100

On sait que dans le désert, l'eau des puits est salée; d'un autre côté, il est à remarquer que l'eau du delta de l'Oued Djeddi contient des sels de magnésie, tandis qu'un peu plus loin on en

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1247.
(2) *Rapport sur le projet de créer une mer intérieure en Algérie.*

trouve à peine des traces dans la croûte salée du Chott Sellem : par conséquent, comme l'observe M. H. Le Chatelier, bien que les rivières se rendant dans les Chotts y apportent des sels, ces derniers ne s'y répartissent pas uniformément et ils restent, au contraire, localisés dans leurs deltas.

Sel marin.

CHOTTS.—M. H. Le Chatelier a fait également l'analyse du sel qui se forme à la surface des Chotts de l'Algérie et a reconnu qu'il ne contient que peu ou point de magnésie. De plus, bien que ce sel soit essentiellement formé de chlorure de sodium, il peut être mélangé de sulfate de soude, dont la proportion varie habituellement de 0 à 27 pour 100. M. H. Le Chatelier a même constaté que le sol de la plaine de Badja, voisine du Chott Sellem, contient jusqu'à 63 pour 100 de sulfate de soude.

Natron.

PUY-DE-DÔME. — Le natron se montre en efflorescences blanches sur plusieurs points de l'Auvergne, en particulier sur les calcaires des bords de l'Allier, vers Pont-du-Château ; sur le plateau de Saint-Martial, près des eaux du Tambour ; à la surface des travertins qui dominent les argiles rouges, près de Saint-Germain-Lembron (1).

ÉGYPTE. — Les lacs à natron de l'Égypte ont été récemment explorés par M. Jules Gay-Lussac et, comme les Chotts de l'Algérie, ils sont alignés au fond d'une large vallée sableuse. L'analyse du sel qui s'effleurit sur leurs bords a montré à M. H. Le Chatelier qu'il est composé de carbonate de soude et de chlorure de sodium associé, comme dans les Chotts, à du sulfate de soude dont la proportion a varié de 2 à 26 p. 100.

Terres alcalines.

NEBRASKA. — Les *terres* dites *alcalines*, qu'on rencontre si fréquemment dans le Nebraska, ont été étudiées par M. S. Aughey (2). Elles n'appartiennent pas à une formation géologique déterminée, mais se montrent indifféremment sur le drift, l'alluvion ou le loess. Les échantillons analysés n'ont pas été pris sur des sols recouverts d'une croûte saline, mais dans des endroits où il se développait encore une maigre végétation :

---

(1) Gonnard : *Minéralogie du département du Puy-de-Dôme*, 1876, 113.
(2) Hayden : *Geological and geographical Survey*, 1876, 261.

A Au sud de North Platte. | B Aux environs du vieux fort Kearney.

	Résidu insoluble.	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO,CO^2	$3CaO,PhO^5$	MgO,CO^2	KO	NaO,CO^2 et $NaO,2CO^2$	NaO,SO^3	Humidité.	Matières organiques.	Perte.	Somme.
A	74,00	3,80	2,08	60,1	1,70	,89	1,68	5,17	0,70	0,99	1,20	0,78	100
B	73,10	3,73	2,29	42,9	1,40	,29	1,80	7,33	0,89	0,98	2,10	0,80	100

M. S. Aughey fait observer que les *terres alcalines* du Nebraska présentent de notables différences dans leur composition chimique; toutefois la soude est de beaucoup leur alcali dominant. Elles paraissent provenir des évaporations successives des eaux qui se rendent sur des terrains bas et qui sont légèrement chargées de chlorure de sodium; ce dernier se change ensuite en carbonate de soude, par double décomposition. Malgré la forte proportion de sels qui imprègnent les *terres alcalines*, un drainage et des labours profonds permettent généralement de les cultiver avec succès.

Glaubérite.

ESPAGNE. — Les principaux gisements de sulfates de soude se trouvent dans le terrain tertiaire de la province de Madrid. D'après M. Alph. Picquet (1) ils sont répartis sur les rives du Jarama, du Tajũna et du Tage. Le sulfate de soude, intercalé dans des couches argileuses, se montre soit à l'état de sulfate de soude anhydre (Thénardite), soit surtout à l'état de sulfate double de soude et de chaux (Glaubérite).

Les gisements les plus importants sont ceux de la rive gauche du Jarama, notamment à San Martin de la Vega. Ce dernier s'étend sur une longueur de 9 kilomètres, et sa puissance moyenne dépasse 7 mètres; il contient plus de 18 pour 100 de sulfate de soude anhydre.

Une couche exploitée dans la mine Consuelo, sur la rive gauche du Jarama, était encore plus riche, comme le montrent les analyses suivantes de ses trois zones, qui sont dues à M. J. Aldama, ingénieur en chef des mines :

I Glaubérite compacte, couleur gris de plomb; de la zone supérieure.
II Glaubérite cristalline, dont la couleur varie du blanc au jaune et au gris de plomb; de la zone moyenne.
III Glaubérite compacte, ayant une couleur foncée; de la zone inférieure.

(1) *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1876.

	NaO, SO^3	CaO, SO^3	Argile.	HO	Somme.
I.	30,00	28,75	40,00	1,25	100,00
II.	41,00	39,29	18,00	1,71	100,00
III.	36,00	34,40	28,15	1,36	99,91

Les gisements du Tajūna sont les moins riches : ceux du Tage, au S.-E. de Colmenar de Areja, bien étudiés par Amalio Maestre, contiennent de 10 à 73 p. 100 de glaubérite et de 2 à 14 p. 100 de sel marin; leur richesse moyenne est de 30 p. 100 de glaubérite.

SMÉA. — Dans la région des Chotts, à Sméa, M. H. Le Chatelier a traversé une plaine formée par une poussière blanche, salée, ayant l'aspect d'un sel effleuri, à laquelle il a trouvé la composition suivante :

NaCl	$NaO.SO^3$	CaO,SO^3	$CaO.CO^2$	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	HO	Somme.
13,86	28,14	6,30	8,55	19,35	9,90	0,90	13,00	100

Le sol, duquel provient cette poussière, consiste en une marne saline, brune et fragmentaire.

Gypse.

SOUF. — Dans les oasis du Souf, en Algérie, on exploite à quelques mètres de profondeur une pierre à plâtre friable et de couleur blanc-jaunâtre. Les Arabes l'emploient dans leurs constructions, soit comme moellon, soit comme mortier, après l'avoir fait cuire. D'après M. H. Le Chatelier, voici la composition de celle du village d'Ez Goum :

CaO, SO^3	HO	CaO, CO^2	SiO^2	Somme.
56	17	4	23	100

Cette pierre à plâtre est donc un gypse, mélangé de sable quartzeux et contenant un peu de chaux carbonatée.

On sait, du reste, qu'on donne le nom de *pierre de Souf* à des cristaux de gypse qui ont enveloppé des grains de sable, comme la chaux carbonatée de Fontainebleau. Ces cristaux peuvent renfermer moitié de leur poids de sable quartzeux. M. Le Chatelier a reconnu qu'ils se trouvent dans le sable et qu'ils recouvrent immédiatement la pierre à plâtre; on peut en conclure qu'ils se sont vraisemblablement formés par infiltration capillaire.

Phosphorite.

FRANCE. — Plusieurs échantillons de phosphate de chaux pro-

venant de France ont été analysés au bureau d'essai de l'École des mines, sous la direction de MM. Moissenet et Carnot.

	Acide phosphorique.
Torcy (Côte-d'Or)	22,70
La Hève, près le Havre	23,04
Les Islettes (Meuse)	31,00
Roqueprune (Tarn-et-Garonne)	32,64

LOT. — Deux phosphates du département du Lot, remis par M. Morineau, ont également été analysés au bureau d'essai.

A Phosphate jaune, mélangé d'une proportion notable de calcaire et contenant des grains d'hydroxyde de fer, de Larnagol.
B Phosphate rougeâtre de Saint-Jean-de-Laur.

	SiO^2	Al^2O^3 insoluble.	Al^2O^3 soluble.	Fe^2O^3	CaO	MgO	PhO^5	Perte au feu.	Somme.
A. .	25,60	12,60	14,30	10,60	11,20	0,60	8,10	16,60	99,60
B. .	16,30	10,30	26,00	15,60	4,30	0,30	8,75	17,60	99,15

Une grande partie de l'alumine soluble paraît être à l'état de phosphate.

ESPAGNE. — A Atalaya del Molar, dans la vallée du Lozaya, province de Madrid, on rencontre une craie tufau qui contient 1,48 pour 100 de phosphorite (1).

CACERES. — On doit à M. Egozcue y Cia et à M. L. Mallada (2) une étude bien complète des gîtes importants de chaux phosphatée qui se trouvent dans la province de Caceres, au sud-ouest de l'Espagne. Des cartes géologiques font connaître ces gîtes aux environs de Logrosan, entre Zarza et Ceclavin, à Trujillo, Montanchez, ainsi que dans toute la province. La chaux phosphatée est à l'état d'apatite ou de phosphorite; elle forme le plus souvent des filons, orientés du N.-E. au S.-O., très bien caractérisés et présentant des veines parallèles; mais elle se rencontre également en amas. On l'observe presque toujours dans le granite; il y en a cependant dans les grès cambriens et même dans les calcaires dévoniens; elle est le plus généralement associée à du quartz et peut aussi être accompagnée par de la chaux carbonatée, par des oxydes de fer et de manganèse et par des argiles. Tous ses caractères et son mode de gisement accusent visiblement une origine interne et geysérienne.

NASSAU. — Un phosphate de chaux de Biebrich (Nassau) a donné,

---

(1) Picquet. *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1876.
(2) *Memorias de la Comision del Mapa geologica de Espana*, 1876.

au bureau d'essai de l'École des mines, 30,75 pour 100 d'acide phosphorique.

Russie. — La phosphorite occupe en Russie des gisements très-étendus dont l'étude a été faite dans ces dernières années sous l'impulsion du Ministre des domaines, particulièrement par MM. Engelhardt, Barbot de Marny, Gréving, Guillemin, Schwakhofer, Yermolow (1). C'est surtout dans le terrain crétacé (étage cénomanien) que la phopshorite se trouve en Russie; mais on la rencontre aussi dans le terrain silurien (Podolie, Saint-Pétersbourg), dévonien (Nowogorod), jurassique (Nijni-Nowogorod), tertiaire (Kiew), et même diluvien (Tambow).

Dans le terrain crétacé, il y a généralement de une à trois couches de phosphorite et quelquefois jusqu'à sept. Cette phosphorite, en nodules ou en dalles, s'emploie à Koursk, à Woronége, à Tambow, pour les constructions, pour le pavage et pour le chargement des routes. Sa densité, qui varie de 2,6 à 2,9, est d'autant plus élevée que sa richesse en phosphate de chaux est plus grande. Elle dégage une odeur résineuse sous le marteau et par l'action des acides.

Trois variétés de nodules peuvent être distinguées :

a Ceux qui sont siliceux, légers, friables, sablonneux et de couleur grisâtre.
b Ceux qui, mélangés à la fois de sable et d'argile, sont intermédiaires entre les deux autres ; ce sont les plus répandus.
c Ceux qui sont argileux, lourds, luisants dans la cassure et de couleur noirâtre, plus rarement gris d'ardoise.

Le tableau suivant donne, d'après M. Yermolow, la composition de ces trois variétés :

	Partie insoluble.	Partie soluble.	PhO^5	CO^2	CaO
	Dans 100 parties.				
a Nodules siliceux de Spassk. . . .	59,70	40,30	12,63	1,98	18,54
b Id. argilo-sableux de Tambow. .	32,50	64,50	20,56	»	29,07
c Id. argileux de Spassk.	9,50	90,50	27,48	3,95	42,00

On voit que les nodules siliceux sont les plus pauvres en acide phosphorique, tandis que les nodules argileux sont ceux qui en contiennent le plus. Les premiers laissent un résidu sableux, insoluble, qui est assez considérable ; dans les seconds, au contraire, ce résidu est très-faible et consiste en argile avec un peu de matière organique qui contribue à leur donner une couleur foncée.

(1) *Recherches sur les gisements de phosphate de chaux fossile en Russie.* Saint-Pétersbourg, 1873.

Comme le remarque M. Yermolow, la propriété absorbante de l'argile détermine sans doute la richesse plus grande des nodules argileux; par suite, il suffit d'une faible quantité d'argile pour augmenter beaucoup la richesse d'un nodule en acide phosphorique : c'est aussi ce qui explique comment on peut très bien trouver un nodule riche à côté d'un nodule pauvre.

Parmi les analyses complètes de phosphorite de Russie, mentionnons encore :

A. Celle d'un nodule cénomanien de Koursk, faite par M. Inostrantsew.

B. Celle d'une concrétion sphérique du schiste silurien de Podolie, faite par M. Schwakhofer :

	A	B
Matière siliceuse	51,53	6,34
Matière organique	1,19	1,39
Acide phosphorique	16,48	36,53
Acide carbonique	3,25	0,30
Acide sulfurique et chlore	»	traces
Soufre	0,33	»
Fluor	traces	3,00
Chaux	23,80	47,99
Magnésie	traces	traces
Potasse	»	0,16
Soude	»	0,23
Alumine	1,71	2,52
Oxyde de fer	0,69	2,65
Peroxyde de manganèse	»	traces
Humidité et perte	1,02	0,72
Somme	100,00	101,83

La phosphorite de Podolie est remarquablement riche, car la moyenne de nombreuses analyses a donné à M. Schwakhofer environ 75 pour 100 de phosphate de chaux. Sa couleur est brune ou noirâtre et sa densité varie de 2,8 à 3.

Elle présente des concrétions radiées, ayant un diamètre de 2 à 18 centimètres. Ces concrétions renferment, le plus souvent, un noyau gris de calcaire. D'après cela, M. Schwakhofer est porté à croire que les nodules de Podolie ont été pseudomorphosés par une infiltration lente d'acide phosphorique. On trouve en effet cet acide répandu dans le schiste encaissant, dans la proportion de 3 millièmes.

Les gisements de phosphorite crétacée de Smolensk, Orel, Koursk, Woronége, c'est-à-dire de la zone centrale de la Russie, contiennent en moyenne plus de 15.000 tonnes à l'hectare : les gisements de Tambow, qui sont les plus riches, en contiennent de 30.000 à 60.000, ce qui, en admettant une richesse de 35 pour 100 de phosphate de chaux, donne 10.000 à 20.000 tonnes de phosphate à l'hectare.

Caroline du Sud. — Dans les environs de Charleston et sur les bords de la rivière Ashley, on exploite des gîtes de phosphorite dont nous avons déjà parlé précédemment (1). Quelques nodules qui en proviennent ont été analysés récemment au bureau d'essai de l'École des mines, et leur proportion d'acide phosphorique n'était guère que de 25 p. 100. Ces nodules s'exploitent dans des graviers quaternaires; d'après M. Brylinski (2), ils proviennent du remaniement et de la transformation d'une couche éocène qui est très-riche en débris fossiles.

M. Leidy (3) a d'ailleurs signalé le singulier mélange de fossiles, d'âges différents, qui caractérise les dépôts phosphatés de la rivière Ashley. Indépendamment des nodules qui paraissent appartenir aux couches éocènes sous-jacentes, on y trouve des ossements appartenant à tous les étages tertiaires; on y trouve, en outre, des débris d'animaux terrestres ou marins de l'époque quaternaire; les squalodontes éocènes sont associés aux Carcharodon angustidens, Carcharodon Megalodon, Elephas, Mastodon, Megatherium, etc., et même à des produits grossiers de l'industrie humaine.

Bolivie. — Des roches granitiques altérées, provenant de Bolivie et remises au bureau d'essai de l'École des mines par la Compagnie de Saint-Gobain, peuvent être utilisées pour la fabrication des engrais phosphatés, car elles contiennent, indépendamment de la potasse, beaucoup d'acide phosphorique :

	Très-altérée.	Peu altérée.
Acide phosphorique p. 100.	19,40	5,60
Potasse dissoute directement par les acides.	1,40	0,28

Roches calcaires.

Calcaire.

Meuse. — Deux calcaires kimméridiens de la Meuse ont été analysés par M. Barachon (4); ils sont assez purs pour qu'on les utilise comme castine dans les hauts fourneaux :

A Calcaire en roche, appartenant au Kimméridien, de Ligny.

B Calcaire kimméridien, formant des couches puissantes et recouvert par des lambeaux de Portlandien; de Bar-le-Duc.

(1) *Revue de géologie*, X, 47; XI, 42.
(2) *Société géol. de Normandie*, 1874.
(3) *Americ. Journ.* [3], XII, 222.
(4) Lettre du 14 novembre 1876.

	CaO	MgO	Al^2O^3 et Fe^2O^3	Silice et quartz.	CO^2 et HO	Somme.
A. .	51,66	traces	0,63	5,00	41,80	99,09
B. .	54,00	traces	0,85	3,00	42,40	100,25

Calcaire lithographique.

VIVIERS.— On exploite dans une carrière apartenant à MM. Carle et Damon, située sur la commune de Viviers (Ardèche), une sorte de calcaire lithographique. On le cuit aussi pour en fabriquer de la chaux grasse. Ce calcaire, dont la puissance peut atteindre 10 mètres, recouvre les bancs qui servent à faire de la chaux hydraulique; comme eux, il appartient au terrain néocomien. Son analyse, faite au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, par M. L. Durand-Claye, montre qu'il contient à peine 1 pour 100 de matières minérales mélangées.

Résidu insoluble dans les acides	0,40
Alumine et peroxyde de fer	0,60
Chaux	54,70
Magnésie	0,80
Perte au feu et non dosé	43,50
Somme	100,00

Calcaire avec silice soluble.

VIVIERS. — M. L. Durand-Claye a également analysé les calcaires du néocomien qui s'exploitent dans la même carrière de Viviers et qui servent à fabriquer une chaux hydraulique analogue à celle du Theil. Ces calcaires présentent quatre bancs, qui, en partant de la base, ont successivement des épaisseurs de 7 mètres, de 2 mètres, de 9 mètres et de 3 mètres. Leur composition est résumée dans le tableau suivant :

	Bancs			
	I.	II.	III.	IV.
Silice et résidu insoluble dans les acides	19,20	20,30	15,30	11,20
Alumine et peroxyde de fer	2,50	2,00	3,50	2,90
Chaux	42,20	41,70	42,60	47,10
Magnésie	0,90	0,60	0,80	0,60
Perte au feu et non dosé	35,20	35,40	37.80	38,20
Somme	100,00	100,00	100,00	100,00

On voit que la proportion de la silice ou du résidu insoluble diminue à mesure qu'on s'élève dans la carrière. A sa partie supérieure, on trouve, d'ailleurs, le calcaire lithographique dont l'analyse vient d'être donnée et qui est du calcaire presque pur.

Le Theil. — Trois variétés de calcaires néocomiens provenant des carrières de la commune du Theil (Ardèche) ont été essayées par M. L. Durand-Claye au laboratoire de l'École des ponts et chaussées. L'échantillon I est le calcaire communément exploité pour la fabrication de la chaux hydraulique du Theil, qui est si renommée. L'échantillon II forme des rognons gris-bleuâtres qui sont disséminés dans la masse calcaire précédente et généralement parallèles à sa stratification. Par la cuisson ordinaire dans les fours, on ne peut les transformer en chaux susceptible de s'éteindre en poudre. L'échantillon III provient de rognons blancs qui sont disséminés dans la même masse et donnent de la chaux grasse.

	I	II	III
Silice et résidu insoluble dans les acides. . . .	12,20	22,60	3,70
Alumine et peroxyde de fer.	0,40	2,10	1,40
Chaux.	47,00	40,60	52,50
Magnésie.	0,60	0,50	0,40
Perte au feu et non dosé.	39,80	34,20	42,00
Somme.	100,00	100,00	100,00

On peut tirer de ces analyses les conclusions suivantes :

Le calcaire I est à chaux hydraulique, analogue à ceux qui fournissent la chaux du Theil, quoiqu'un peu pauvre en silice. L'échantillon II laisse un résidu insoluble beaucoup plus élevé : il est capable de fournir, non de la chaux, mais du ciment Portland; on conçoit donc qu'il reste à l'état de grappier après la cuisson. Enfin, l'échantillon III consiste en calcaire presque pur et doit, par conséquent, donner simplement de la chaux grasse.

On voit combien ces calcaires fournis par les mêmes couches présentent de variations dans leur composition. Il est indispensable d'avoir égard à ces variations pour une fabrication régulière de la chaux hydraulique.

Calcaire hydraulique.

Une notice de M. Lory fournit un grand nombre de documents sur le gisement et sur la composition chimique des pierres calcaires qui sont employées pour fabriquer de la chaux hydraulique et des ciments. Ces pierres calcaires appartiennent surtout à la région du Dauphiné; elles ont été analysées par M. Gueymard et par M. Lory dans le laboratoire départemental d'essais qui est établi à Grenoble.

Le département de l'Isère, en particulier, est très-bien partagé sous le rapport des matériaux hydrauliques; car on en trouve dans le lias, dans le jurassique moyen, dans le néocomien et dans

le crétacé supérieur. Parmi les calcaires hydrauliques du crétacé supérieur, ceux de Sassenage et de Seyssinet contiennent de la silice et très-peu d'argile, de sorte qu'ils ressemblent aux calcaires du Theil, qui sont néocomiens.

Marne.

Montmorillon. — Deux marnes du terrain jurassique de Montmorillon (Vienne) ont été analysées sous la direction de M. Moissenet, au bureau d'essais de l'École des mines. A est de couleur blanche; B de couleur grise.

	Argile et sable.	Fe^2O^3	CaO	MgO	SO^3	CO^2 et perte au feu.	Somme.
A	14,00	0,30	45,30	2,00	0,30	38,00	99,90
B	15,60	0,25	42,00	1,60	0,15	40,00	99,60

Ces marnes sont employées en agriculture.

Molasse.

Molasse. — Un grès calcaire appartenant à l'étage de la molasse rouge et provenant du vallon de Riez, au-dessus de Cully, présente, d'après M. E. Risler (1), la composition suivante :

Partie attaquable par l'eau régale.										
Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	PhO^5	CO^2	Eau.	Matières organiques ou perte.	Partie inattaquable.
0,35	1,55	32,40	1,11	0,02	0,04	0,04	27,02	0,39	0,27	36,82

L'étude de la molasse offre un intérêt spécial pour le canton de Vaud; car elle forme en partie le sous-sol de la région la mieux cultivée du canton, et de plus elle fournit de bons matériaux de construction.

Calcaire magnésien.

Saint-Gildas. — Le calcaire éocène de Saint-Gildas, qui est employé comme engrais pour l'agriculture, a été analysé par M. Bobierre (2). Il contient : CaO, CO^2 78, 57; MgO, CO^2 11, 92; argile et sable 11, 07; Somme 101,56.

On peut observer qu'il renferme une proportion très-notable de magnésie.

(1) *Journal de la Société d'agriculture de la Suisse romande*, 1875.
(2) Lab. de ch. agricole de la Loire-Inférieure, 1850-1875, 299.

Dolomie.

ITTERSBACH. — La dolomie ondulée (*Wellendolomit*) du trias, d'Ittersbach, dans le duché de Bade, a été analysée par M. Brigel (1). Cette dolomie, qui est gris-bleuâtre, est employée pour fabriquer de la chaux hydraulique :

Al^2O^3	FeO	CaO,CO^2	MgO,CO^2	KO	NaO	X (*)	Somme.
6,71	2,17	54,48	31,16	0,26	1,83	2,85	99,46

(*) Résidu insoluble composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer.

Tuf calcaréo-magnésien.

SAINT-ALLYRE. — Le dépôt que forme à Clermont la fontaine incrustante de Saint-Allyre a été analysé par M. Girardin (2) :

CaO,CO^2	MgO,CO^2	StO,CO^2	CaO,SO^3	Sous-phosphate d'alumine.	Phosphate manganeux.	Crénate et apocrénate de fer.	Fe^2O^3	SiO^2	Matière organique.	HO	Somme.
40,22	26,86	0,04	5,38	4,10	0,40	5,00	6,20	9,78	1,20	0,80	99,98

On voit que ce dépôt est un tuf calcaréo-magnésien, présentant une composition assez complexe. Il est riche en magnésie ; car il en contient, relativement à la chaux, une proportion plus grande que dans la dolomie. De plus, il renferme de la silice, du sulfate de chaux, des composés ferrugineux et il a une teneur en phosphates qui est assez élevée.

Roches siliceuses.

Silice avec diatomées.

SAINT-CYR. — Dans les fouilles exécutées pour l'établissement du fort de Saint-Cyr (Seine-et-Oise), on a rencontré de la silice, formant des rognons intercalés dans une argile magnésienne, lacustre, brun-violacé, qui est immédiatement au-dessus des sables de Fontainebleau et par conséquent à la base des argiles à meulières de Beauce. Cette silice, blanche, légèrement jaunâtre, est friable et tache les doigts ; elle est très-légère, car sa densité est seulement de 1,724.

Quand on la met dans l'eau, elle fait entendre un bruissement, flotte d'abord à la surface, puis tombe au fond ; en même temps

(1) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873, 1228.
(2) F. Gonnard : *Minéralogie du département du Puy-de-Dôme*, 1876, 101.

elle se gonfle et se désagrège ensuite assez facilement. Elle happe fortement à la langue, et, après vingt-quatre heures de séjour dans l'eau, on a constaté qu'elle avait retenu 114 pour 100 d'eau d'imbibition, c'est-à-dire plus que son poids; elle est donc très-avide d'eau, ce qu'il faut attribuer à ce qu'elle se compose, comme l'argile, de parcelles microscopiques. Mise pendant huit jours en digestion dans une dissolution froide de potasse, elle a abandonné 65 pour 100 de silice soluble. M. L. Durand-Claye l'a analysée au laboratoire de l'École des ponts et chaussées :

SiO^3	Al^2O^3 et Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu.	Somme.
92,70	1,60	0,70	0,30	5,00	100,30

Cette substance blanche, de la base des argiles de Beauce, est donc de la silice soluble et une variété de tripoli. Elle contient d'ailleurs des diatomées et l'on y observe aussi des gastéropodes de très-petites dimensions; toutefois, les têts calcaires de ces gastéropodes ont disparu, en sorte que la dissolution de la chaux carbonatée qui lui était mélangée a dû contribuer à augmenter sa porosité et à la rendre très-légère. Ses cavités sont quelquefois tapissées par des croûtes, qui sont fendillées par des retraits, et qui proviennent visiblement de silice gélatineuse déposée par des infiltrations.

Alios.

Luneboorg, Mecklembourg. — On désigne sous le nom de *ortstein*, *ortsand*, *fuchs*, une sorte d'*alios* qui se forme dans le sous-sol des terres sablonneuses du nord de l'Allemagne. M. le docteur Gräger (1) en a étudié deux variétés venant, l'une A des landes de Lunebourg, l'autre B du sud-ouest du Mecklembourg :

	Sable.	Fe^2O^3	FeO	Mn^2O^3	PhO^5	Matières humiques.	Al^2O^3	Eau et matières organiques.	Somme.
A	81,00	1,70	«	«	«	9,69	1,94	4,20	98,53
B	82,72	0,94	0,28	traces	0,28	7,85	2,12	4,71	98,90

L'examen spécial des matières humiques a montré à M. Gräger qu'elles peuvent se décomposer ainsi :

	Acide apocrénique. $C^{48}H^{24}O^{24}$	Humine. $C^{40}H^{15}O^{15}$	Ulmine. $C^{40}H^{16}O^{14}$
A	3.13	2.78	3,78
B	2,82	1,50	3,53

(1) F. Senft, *Die Humus-Marsch-Torf und Limonitbildungen*, etc., 174.

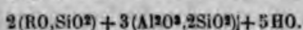
Il importe d'observer, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, que si l'*alios* contient habituellement de l'oxyde de fer qui est à l'état de limonite et contribue à le cimenter, il peut aussi en être privé complétement.

Grès avec hygrophilite.

WETTIN. — Les grès et les conglomérats siliceux qui sont à la base du *Rothliegende* de Wettin contiennent une substance minérale que M. H. Laspeyres (1) a nommée *hygrophilite*. Elle se trouve en nids allongés dans les grès et dans les conglomérats. Sa densité est 2,6 et sa dureté varie de 2 à 2,5. Elle est verte et ressemble à de la pinite. Toutefois, elle se laisse attaquer complétement par l'acide chlorhydrique et elle se désagrége dans l'eau comme le ferait un *bol* (argile ferrugineuse).

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
48,78	31,92	3,15	1,07	1,72	5,67	1,36	9,02	102,69

La formule de l'*hygrophilite* serait, d'après M. Laspeyres :



$$2(RO,SiO^2)+3(Al^2O^3,2SiO^3)+5HO.$$

Novaculite.

ARKANSAS. — Une novaculite, servant de pierre à aiguiser, a été décrite par M. D. D. Owen et analysée par M. C. E. Wait (2); elle provient de Flot Springs dans l'Arkansas. Sa densité est 2,649. Voici quelle est sa composition :

SiO^2	Al^2O^3	MgO	NaO	Somme.
99,64	0,11	0,09	0,16	100

On y trouve aussi des traces d'oxyde de fer et de potasse.

Une lessive de soude en dissout seulement quelques centièmes. Cette roche est essentiellement formée de quartz dont les parcelles microscopiques ont sans doute été agglomérées par la pression.

Roches argileuses.

Argile réfractaire.

BANAT. — On rencontre à Steierdorf, dans le Banat, entre le permien et le lias, des couches d'une argile qui est exploitée pour

(1) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873, 3, 1177.
(2) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1150.

la fabrication des produits réfractaires. L'analyse de cette argile a donné (1) :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	Eau.	Somme.
53,20	36,38	1,01	traces	traces	traces	8,94	99,53

Argile ferrugineuse.

CARNIOLE. — MM. Neumayr et Th. Fuchs (2) se sont occupés de l'origine de la terre rouge qui recouvre généralement les affleurements calcaires et qui, très-développée dans la Carniole, au sud-est de l'Europe, y a reçu le nom de *terra rossa*. Tandis que M. Neumayr croit y voir le résidu de la dissolution d'une boue calcaire à globigérines, M. Th. Fuchs observant que tous les calcaires, même ceux qui se sont formés dans des étangs, contiennent assez de composés ferrugineux pour que leur destruction donne une terre rouge argileuse, pense que la *terra rossa* est aux calcaires de l'Istrie et de la Dalmatie ce qu'est le limon rouge de Pikermi au marbre du Pentélique. Il importe, toutefois, de remarquer que les argiles ferrugineuses peuvent aussi avoir une origine interne et être rejetées de l'intérieur de la terre.

Argile magnésienne.

SAINT-CYR. — Dans les fouilles exécutées pour construire le nouveau fort de Saint-Cyr (Seine-et-Oise), on trouve, immédiatement au-dessus des sables de Fontainebleau, une argile magnésienne d'une couleur noirâtre ou brun-violacé. Cette argile, qui constitue la base des argiles à meulières de Beauce, a une épaisseur de $0^m,40$. Elle est quelquefois feuilletée et contient des rognons d'une silice blanche, soluble dans la potasse, que nous avons décrite avec les roches siliceuses. Lorsqu'on la met dans l'eau, elle forme une pâte maigre. Sa densité est 2,247.

M. L. Durand-Claye en a fait l'analyse au laboratoire de l'École des ponts et chaussées et a obtenu la composition suivante :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu.	Somme.
58,20	9,90	4,90	1,60	8,10	17,70	100,40

Comme toutes les argiles magnésiennes, celle de Saint-Cyr ab-

(1) A. Carcanagues, ingénieur des mines; *Note sur l'exploitation de la houille dans les domaines de la Société autrichienne des chemins de fer dans le Banat*, 1876.
(2) *Verhandl. d. K. K. g. R.*, 1875, 50, 194.

sorbe beaucoup d'eau d'imbibition et elle en retient 69 pour 100 de son poids. Traitée à froid par une dissolution de potasse, elle abandonne 16 pour 100 de silice soluble, c'est-à-dire le quart du poids total de la silice : ce résultat se comprend d'autant mieux que de la silice blanche pulvérulente, soluble dans la potasse, forme des rognons dans l'argile magnésienne à laquelle elle doit être plus ou moins mélangée. Du reste cette argile magnésienne est recouverte par 5m,70 d'argile versicolore avec blocs de meulières, par 1m,50 d'une argile verte et rouge, très-mélangée de sable graveleux et enfin par 2m,60 de limon rouge, d'argile sableuse des plateaux et de terre végétale.

Vase lacustre.

DURANCE. — D'après les analyses faites par MM. de Gasparin et J. A. Barral (1), 100 grammes du limon de la Durance contiennent :

		milligrammes.	
Acide phosphorique		21,00	
Potasse		72,00	
Azote	de l'acide azotique	0,10	0,77
	de l'ammoniaque	0,07	
	des matières organiques	0,60	

Ces éléments sont les plus importants à doser au point de vue agricole. Comme la Durance coule dans un bassin hydrographique calcaire, son limon doit naturellement contenir du carbonate de chaux, et, en effet, M. Barral en a trouvé plus de 30 pour 100.

Il faut d'ailleurs observer que la composition et la couleur de ce limon sont variables, ainsi qu'on l'a constaté pour d'autres fleuves. La proportion du limon contenu dans la Durance est aussi très-variable ; faible pendant la saison d'hiver, elle devient très-grande pendant la saison d'été, surtout pendant les mois d'août et de septembre, à l'époque des pluies d'orage (2).

SUISSE. — Des limons provenant des dépôts actuels de l'Arve et de la Morges, ainsi que du lac Léman, ont été analysés, les deux premiers par M. E. Risler (3) et le dernier par M. P. de Gasparin.

---

(1) J. A. Barral : *Les irrigations dans le département des Bouches-du-Rhône*. 1876. 177. 184.
(2) *Lithologie du fond des mers*, p. 66. — *Revue de géologie*, VIII, 222.
(3) *Journal de la Société d'agriculture de la Suisse romande*, 1875.

I Limon bleu de l'Arve ayant une densité de 2,48.
II Limon de la Morges, assez grossier, de couleur bleu-grisâtre, contenant des débris de calcaires des Alpes; il est considéré comme peu fertile.
III Limon actuel, du fond du lac de Genève, ayant une couleur bleue et consistant en une argile marneuse, très-compacte.

	Partie attaquable par l'eau régale.													Partie inattaquable.
	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	PhO^5	CO^2	SO^3	Cl	Matières organiques et perte.	Eau combinée.	Az	
I	2,67	3,60	12,56	1,47	0,18	0,43	0,10	10,24	traces	traces	0,72	1,55	0,07	66,50
II	1,04	2,84	22,82	1,12	0,05	0,08	0,09	19,04	»	»	4,43	»	»	48,49
III	1,80	3,36	12,39	1,92	traces	traces	0,12	9,80	traces	»	3,73	»	0,26	66,88

On peut observer que le limon de l'Arve est presque le même que celui déposé au fond du lac de Genève. Constatons aussi que ce limon de l'Arve, produit de la trituration des glaciers, se montre riche en acide phosphorique et en potasse assimilables; du reste, il a permis d'établir des cultures importantes, particulièrement à Plainpalais.

Moravie, Bohême. — Trois vases lacustres, recueillies au fond de divers étangs, ont été soumises à l'analyse et ont donné les résultats suivants (1) :

A Vase d'un étang de Jedowitz, en Moravie; analysée par M. Tod.
B Vase d'un étang de Grüna près de Chemnitz; analysée par M. Ch. Siegert.
C Vase d'un étang de la seigneurie Kornhaus en Bohême; analysée par M. R. Hoffmann.

	Substances humiques.	CaO,CO^2	CaO,SO^3	$3CaO,PhO^5$	Argile ferrugineuse.	Sable.	Somme.
A	8,30	2,41	1,70	0,60	82,59	4,40	100

HO	Substances organiques.	Argile et sable.	Substances solubles dans l'acide.								Somme.	Azote.	Acide humique.
			Al^2O^3 Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	SO^3	PhO^5	CO^2			
6,69	14,68	65,40	7,88	0,30	0,49	0,54	0,10	0,28	0,63	traces	96,99	0,82	3,90

(1) A. Orth : *Geognostische Durchforschung des schlesischen Schwemmlandes*, Berlin, 267, 268, 269.

	SUBSTANCES SOLUBLES															
	DANS L'EAU.					DANS L'ACIDE FAIBLE.										
	Chlorures alcalins.	MgO	CaO	SO^3	PhO^5	KO	NaO	MgO	CaO	Al^2O^3 Fe^2O^3	CO^2	SO^3	PhO^5	Argile avec un peu de sable.	Substances organiques.	Somme.
C	0,13	0,03	traces	0,002	traces	0,04	0,06	0,33	0,13	4,30	0,10	traces	0,06	90,26	4,40	99,842

MAHÂNADI. — M. E. Nicholson (1) a fait l'analyse de la vase tenue en suspension dans l'eau du fleuve Mahânadi qui se jette dans le golfe du Bengale. Les résultats sont rapportés à 10 litres et à la matière chauffée au rouge :

A La vase qui se dépose immédiatement.
B La vase la plus fine dont le dépôt a eu lieu seulement au bout de quatre semaines :

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3 | PhO^5	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Somme.
A	1,831	0,237	0,143	0,047	0,052	2,310
B	0,271	0,026	0,018	0,025	traces	0,340

On voit que la vase du Mahânadi est surtout siliceuse et renferme très-peu de carbonates ; il est facile de s'en rendre compte puisque le bassin hydrographique qui la fournit présente un sol de trapp et de gneiss. Du reste l'eau avait été prise à 69 kilomètres de son embouchure et vers la fin de la saison des pluies. Dans l'Inde, on admet généralement que la proportion de vase tenue en suspension dans les fleuves, notamment dans le Gange, est environ de 1 pouce cube pour 1 pied cube d'eau.

Loess.

NEBRASKA. — Dans son exploration des territoires situés à l'ouest des États-Unis, M. le Dr Hayden (2) a spécialement étudié le *loess* dont la connaissance est si importante pour l'agriculture. Dans le Nebraska, d'après M. Aughey, il occupe au moins les trois quarts de la surface et son épaisseur peut atteindre une trentaine de mètres ; sur certains points du comté Dakota, elle s'élève même à plus du double. Il se montre très-constant dans ses caractères minéralogiques sur des étendues de quelques centaines de milles, ou bien encore lorsqu'on le prend à diverses hauteurs dans une

(1) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873 ; 1234.
(2) Dr Hayden. *Geological and geographical Survey*, 1876, 246.

même coupe. Des concrétions calcaires s'y trouvent disséminées; elles sont tantôt creuses et tantôt contiennent un fossile ou bien quelques débris de matière organique; leur grosseur varie de celle d'un grain de plomb à celle d'une noisette.

M. Aughey a analysé le *loess* du Nebraka en l'attaquant par l'acide chlorhydrique; A provient de Douglas, près Omaha; B de la vallée républicaine, près d'Orléans, comté Harlan.

	Résidu insoluble.	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO,CO^2	$3CaO,PhO^5$	MgO,CO^2	KO	NaO	Matières organiques.	Humidité.	Perte.	Somme.
A	81,28	3,86	0,75	6,07	3,58	1,29	0,27	0,15	1,07	1,09	0,59	100
B	81,32	3,86	0,74	6,09	3,59	1,29	0,33	0,16	1,06	1,09	0,47	100

Le *loess* du Nebraska est en partie formé de silice en parcelles microscopiques, ce qui le rend perméable et spongieux; il contient plusieurs centièmes de carbonates de chaux et de magnésie, ainsi que des alcalis, de l'oxyde de fer et des matières organiques, mais il est surtout remarquablement riche en chaux phosphatée. Une analyse du *loess* d'Hannibal, dans le Missouri, faite par M. Litton, a donné un résultat analogue. En résumé, le *loess* des États-Unis ne diffère pas essentiellement de celui de la vallée du Rhin examiné par M. Sandberger (1).

Quant à la faune du *loess* du Nebraska, M. Aughey observe qu'elle se compose de mollusques terrestres et d'eau douce dont la plupart vivent encore maintenant dans la région; on en rencontre cependant à un certain niveau qui présentent des formes plus méridionales.

Parmi les vertébrés on trouve souvent le lapin, le castor, le daim, l'élan, le buffle, quelquefois le mastodonte et l'éléphant, en particulier l'Elephas americanus, dont la coexistence avec l'homme est bien accusée par l'association de ses débris avec des flèches et des instruments en silex.

On sait que, d'après M. de Richthofen, le *loess* est également très-développé en Chine où il offre les mêmes caractères qu'en Europe.

Marne magnésienne.

IÉNA. — Des marnes magnésiennes et argilo-sableuses du trias des environs d'Iéna ont été analysées par M. H. Ludwig (2). A est

(1) *Revue de géologie*, XI, 51.
(2) A. Orth : *Geognostische Durchforschung des schlesischen Schwemmlandes*, Berlin, 228.

une glaise de couleur bleue ; B une marne argileuse rouge qui sert à faire des briques.

	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	SiO^2 Argile inattaquée.	Sable quartzeux.	HO	Somme.
A	26,78	10,75	9,61	32,53	14,83	5,50	100
B	22,24	2,32	5,31	37,30	27,33	5,50	100

On peut observer que ces marnes du trias d'Allemagne contiennent des proportions notables de carbonate de magnésie; c'est d'ailleurs ce qu'Élie de Beaumont avait déjà constaté, pour les marnes du trias de France, dans l'une de ses premières recherches géologiques.

— Au Trou-du-Diable, qui est également situé aux environs d'Iéna, une marne magnésienne et gypseuse se trouve entre deux couches de gypse cristallisé, et, d'après M. Ludwig (1), elle renferme 2,50 pour 100 de sulfate de magnésie.

Marne lithinifère.

WEITZDORF.— Une marne contenant un peu de lithine et provenant de Weitzdorf (Prusse orientale), a été analysée par M. Ritthausen (1), qui lui a trouvé la composition suivante :

Sable quartzeux.	Argile.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MgO	CaO	KO	NaO	LiO	CO^2	Somme.
18,80	38,02	8,16	3,20	5,60	2,48	10,41	2,10	0,17	0,09	8,30	97,33

Diverses recherches faites dans ces derniers temps au moyen de l'analyse spectrale ont également permis de constater la présence fréquente de la lithine dans les roches sédimentaires (2).

Argilite ferrugineuse.

SCHWEIGHOF. — Une argilite, schisteuse et rouge, appartenant au *Rothliegende* de Schweighof, près de Saint-Margen, dans la Forêt-Noire badoise, a été analysée par M. Vogelgesang (3).

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	HO	Somme.
58,31	25,45	5,44	0,52	1,53	2,31	6,29	99,85

Cette argilite du *Rothliegende* contient, comme les autres, une

(1) A. Orth : *Geognostische Durchforschung des schlesischen Schwemmlandes*, Berlin. 1872, 248.
(2) *Revue de géologie*, XIII, 17.
(3) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873, 1126.

proportion très-notable d'alcalis et peu d'eau, sa couleur rouge doit être attribuée à ce qu'elle renferme plusieurs centièmes d'oxyde de fer.

REICHENBACH. — M. Ph. Platz (1) a donné, d'après M. Brigel, la composition d'une argilite rouge, appartenant à la partie supérieure du grès bigarré et désignée par les géologues sous le nom de *Röth*. Elle provenait de Reichenbach, près Ettlingen, dans la Forêt-Noire, et deux analyses ont été faites : l'une, de la partie soluble dans l'acide chlorhydrique I; l'autre, de la partie insoluble II :

	SiO^2	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	PhO^5	Somme.	
I	0,05	6,08	4,29	0,25	0,13	0,84	0,39	0,08	12,11	99,44
II	62,03	1,84	15,44	0,07	0,09	5,10	2,70	0,06	87,33	

On sait que le *Röth* est employé comme amendement pour les vignes (2).

Roches silicatées non feldspathiques.

Grenatite.

La substance nommée *Erlan* par le professeur Breithaupt ne constitue pas une espèce minérale distincte et doit être considérée comme une variété de grenatite : car M. Frenzel (3) a constaté, en examinant l'*Erlan* au microscope, que c'est une roche formée de grenat, associé à du quartz et à du feldspath.

Serpentine.

TILLY-FOSTER. — M. E. S. Breidenbaugh (4) a analysé deux variétés de serpentine qui se trouvent dans la mine de fer magnétique de Tilly-Foster, Putnam-County, New-York, dont la description a été faite par M. J. D. Dana :

A Blanche, bacillaire et même fibreuse; tantôt elle est en petits grains ou bien en veinules dans le minerai; tantôt elle forme sa gangue, et alors elle est associée à de la chondrodite ainsi qu'à de la chlorite.

B Gris verdâtre, en boules radiées et fibreuses.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	FeO	MnO	MgO	CaO	KO	NaO	HO	Somme.
A	»	42,28	0,86	2,57	»	40,29	1,35	traces	0,48	12,52	100,35
B	2,4	39,38	1,56	13,87	traces	32,25	»	0,17		11,90	99,13

(1) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873, 1226.
(2) *Revue de géologie*, XIII, 184.
(3) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873, 1203.
(4) *Jahresbericht der Chemie fur* 1873, 1175.

De ces deux serpentines, qui sont à l'état fibreux, la première est la variété noble dite chrysotile; la seconde, riche en fer, présente la composition de la serpentine commune (1).

Roches feldspathiques orthosées.

Granite.

CORNOUAILLES. — M. J. A. Phillips (2) a fait une étude chimique du granite classique du Cornouailles. Citons, d'après lui, la composition de trois variétés de cette roche : I. Granite de Carn-Brea-Hill, Redruth; — II. Granite de Botallack; — III. Granite de Chywoon Morvah.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	LiO	EAU Hygrométrique.	EAU combinée.	Somme.
I	2,64	74,69	16,21	trace	1,16	0,58	0,28	0,48	3,64	1,18	0,10	0,34	0,89	99,55
II	2,66	74,54	14,86	2,53	0,23	trace	0,29	trace	3,73	3,49	trace	0,87	trace	100,54
III	2,62	70,65	16,16	1,53	0,52	trace	0,55	trace	8,66	0,54	»	0,33	0,89	99,83

ILE D'ELBE. — M. d'Achiardi (3) a constaté que le granite formant la masse principale des montagnes dans la partie occidentale de l'île d'Elbe, ainsi que dans l'île del Giglio, renferme de la dichroïte qui s'y montre disséminée. M. vom Rath (4) avait déjà reconnu dans ce même granite, comme éléments essentiels, l'orthose, l'oligoclase, le quartz, le mica magnésien (biotite), et comme éléments accessoires, visibles seulement à la loupe, l'hornblende vert foncé, le rutile, le fer oxydulé magnétique, la chlorite, la pyrite de fer et l'orthite.

M. d'Achiardi fait remarquer que la dichroïte avait été trouvée précédemment dans les trachytes de la Toscane, et que la découverte de ce minéral dans les granites de l'île d'Elbe établit une analogie de plus entre les roches granitiques et trachytiques de cette partie de l'Italie. Les unes et les autres sont en effet composées précisément des mêmes minéraux essentiels, avec cette seule différence que le feldspath potassique du granite est remplacé dans le trachyte par le sanidine.

(1) Delesse : *Annales des mines* [4], XVIII, 309.
(2) *Quarterly Journal of the Geological Society*, août, 1875.
(3) *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, residente in Pisa*. Vol. II. — Pise, 1875. (Extrait par M. de Cossigny).
(4) *Die Insel Elba*, 1870.

Gneiss.

CANIGOU. — D'après M. Wickersheimer (1), ingénieur des mines, les gneiss qui forment la partie centrale du massif montagneux du Canigou prennent un aspect particulier et passent fréquemment à de véritables micaschistes. Tout le sommet terminal du Canigou, sur une hauteur d'environ 150 mètres, est composé de gneiss grenatifère. On y trouve le grenat almandin et le grenat grossulaire, qui se présentent avec leurs caractères minéralogiques ordinaires, mais qui sont friables et se brisent en mille fragments. Il y a aussi de l'idocrase qui se montre en beaux cristaux ou bien offre une structure radiée et bacillaire. Enfin, dans les parties de la roche où le mica devient abondant, on observe des mâcles et de l'andalousite en cristaux isolés. Ces cristaux ont tantôt la couleur ordinaire de l'andalousite, tantôt ils sont brillants et de couleur gris-foncé-bleuâtre. Quelquefois les mâcles se croisent sous un angle de 120°.

Protogine.

MONT BLANC. — M. Lory (2) reconnaît, aussi bien dans le massif du mont Blanc que dans les Alpes occidentales françaises, une liaison intime entre la protogine et les schistes chloriteux, où cette roche forme des amas interstratifiés, contemporains de la formation des gneiss et non injectés ultérieurement. Il en est de même d'ailleurs pour le granite à deux micas qui se montre si fréquemment associé au gneiss, au leptynite, au micaschiste et aux schistes cristallins.

Pegmatite.

CERCEDILLA. — Sur le versant ouest de la vallée dans laquelle le Guadarrama prend naissance, M. A. Picquet (3) a étudié aux environs de Cercedilla des filons de pegmatite qui sont encaissés dans le granite. A la mine du Lecharon, un de ces filons, formé de quartz blanc avec des feldspaths labrador et orthose, a été changé en kaolin, que l'on exploite activement.

Voici la composition de ce kaolin :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	Perte au feu.	Somme.
65,00	27,05	0,65	1,90	5,40	100,00

Le filon de kaolin de Lecharon est utilisé par la fabrique de

(1) Extrait d'une lettre du 25 décembre 1876.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 794.
(3) *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1876.

faïence de Ségovie. Il est traversé par une diorite qui y produit un rejet de 6 mètres et de plus altère complétement la pureté du kaolin jusqu'à 60 mètres de distance.

GALAPAGAR. — A 2 kilomètres de Galapagar on rencontre un filon de feldspath orthose, légèrement moucheté de fer, qui est exploité pour une fabrique de faïence de Séville.

A 3 kilomètres de Galapagar, un autre filon, semblable au précédent, est mélangé d'un peu de quartz et de pegmatite. Son feldspath orthose est réduit en poudre et employé comme engrais potassique pour l'amélioration des terres.

Porphyre quartzifère.

CORNOUAILLES. — Les *elvans* ou porphyres du Cornouailles présentent habituellement une composition voisine de celle des granites de la même région. Le tableau suivant donne, d'après M. J. A. Phillips (1), la composition de quatre échantillons de ces roches : I est d'un grain grossier et de structure très-porphyrique, de Pra Sands, près Sydney Cove; II, d'un grain beaucoup plus fin, de Tregoning-Hill, Breage; III, presque aussi compacte que du silex et offrant une cassure conchoïdale, de Mellanear, près Hayle; IV, de couleur brune, contient beaucoup de mica brun, un peu d'orthose et accidentellement du quartz. Ce dernier échantillon est très-exceptionnel et nous paraît être une variété de minette; il provient d'un filon de 10 mètres, qui est orienté du nord au sud et diffère complétement des porphyres quartzifères précédents, qui sont au contraire orientés de l'est à l'ouest.

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	Fl	EAU hygrométrique.	EAU combinée.	Somme.
I	2,62	72,51	13,31	trace	3,87	0,62	0,60	1,52	6,65	0,43	trace	0,11	0,49	100,11
II	2,64	72,82	15,12	1.75	trace	trace	0,52	1,06	6,25	0,51	»	0,26	2,03	100,32
III	2,65	71,46	15,38	0,30	2,27	trace	0,47	0,22	5,51	2,79	»	0,43	1,27	100,10
IV	2,70	47,35	20,60	3,10	1,60	trace	4,72	6,12	6,29	3,58	trace	0,34	6,11	99,81

Ainsi que l'a fait remarquer autrefois sir Henry de la Bèche, ces porphyres, qui ont à peu près la composition chimique et minéralogique des granites du Cornouailles, doivent dériver de la même source. Comme le volume des bulles gazeuses qui se trou-

(1) *Quarterly Journal of the geological Society*, 1875.

vent dans le quartz des porphyres et des granites n'est pas dans un rapport constant avec le volume des inclusions liquides, M. J. A. Phillips observe d'ailleurs qu'on ne peut calculer la température à laquelle ces roches se sont formées.

Porphyre.

MONT REYNAUD. — Une roche feldspathique de mont Reynaud, près Saint-Étienne, commune de la Tour-en-Jarret (Loire), analysée au bureau d'essais de l'École des mines, a présenté la composition suivante :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	Perte au feu	Somme.
68,00	20,00	0,40	0,30	traces	10,00	traces	1,00	99,70

LUGANO. — M. Michel-Lévy (1) a conclu de l'examen microscopique des roches porphyriques de Lugano, dont la description a été donnée précédemment (2), que ces roches se divisent en trois catégories : 1° les *porphyres noirs* magnétiques de Maroggia et de Morcote, identiques avec les porphyres noirs anthracifères du Morvan et de la Loire ; 2° les *porphyres gris* et *rouges*, assimilables aux porphyres houillers français ; 3° les *porphyres bruns* et les pechsteins de Cugliate, absolument analogues aux porphyres permiens de l'Esterel et des Vosges.

Les observations recueillies par M. Michel Lévy sur le terrain lui paraissent confirmer ces déterminations quant à l'âge relatif des diverses variétés.

Ponce.

VÉSUVE. — En traitant par l'acide fluorhydrique une ponce du Vésuve qui semblait être amorphe, M. Fouqué (3) en a extrait des cristaux de feldspath, du pyroxène, de l'amphibole, du péridot, du mica magnésien, du fer oxydulé. Il a constaté, en outre, que les vacuoles de cette ponce étaient tapissées de cristaux microscopiques d'amphigène.

Tuf trachytique.

ALASKA. — MM. de Cessac et Jannettaz (4) ont étudié un tuf

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 111.
(2) *Revue de géologie*, XIII, 57.
(3) *Comptes rendus*, t. LXXIX.
(4) Alph. L. Pinart, *Voyage à la côte nord-ouest de l'Amérique*, exécuté en 1870-72 ; 21.

trachytique rapporté par M. A. Pinart de la baie Kalekhta, dans l'île d'Ounalashka.

Ce tuf est compacte, à grains très-fins, d'un gris sale, rubané, et ressemble à la thermantide. Il est fusible au chalumeau. Son poids spécifique est 2,68. Si on l'examine en lames minces, sous le microscope, on y distingue de l'orthose, du quartz, de l'apatite. Voici quelle est sa composition, d'après M. de Cessac :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	NaO	KO	Perte.	Somme.
70,5	16,2	3,5	4,3	4,0	0,6	0,1	0,8	100

C'est une roche provenant d'une éruption trachytique, mais formée sous l'eau et cimentée postérieurement.

Roches feldspathiques anorthosées.

Kersantite.

Langenschwalbach. — Un porphyre micacé du Nassau, décrit par M. le professeur F. Sandberger et étudié spécialement par un de ses élèves, M. E. Zickendrath (1), doit être rapporté à la kersantite. Il forme des filons dans la grauwacke appartenant au dévonien inférieur de Langenschwalbach, d'Heimbach, d'Idstein et aussi de Stromberg dans le Hundsrück. L'examen de cette kersantite à la loupe montre qu'elle se compose d'oligoclase blanc ou rougeâtre, de mica brun noirâtre, ainsi que de quartz, qui est disséminé dans toute la masse, mais assez difficile à reconnaître. Il y a, de plus, du fer oxydulé en petits grains, de la pyrite de fer, de l'apatite et des carbonates. Examinée en plaques minces, sous le microscope, la kersantite d'Heimbach montre en outre un minéral ayant la forme de l'augite et paraissant pseudomorphosé par une substance verte semblable à la mélanolite ; du reste, cette substance se retrouve aussi dans les fissures de la roche.

M. Zickendrath a fait des analyses complètes de l'oligoclase I, de la kersantite d'Heimbach, du mica II, de la kersantite d'Adolfseck, ainsi que des deux variétés de kersantites provenant, l'une A, d'Adolfseck et l'autre B, d'Heimbach.

(1) *Neues Jahrbuch*, 1875, 754.

	Densité.	SiO²	Al²O³	Fe²O³	FeO	MnO	MgO	CaO	KO	NaO	CO²	PhO⁵	S	Fl	HO	Somme.
I	2,66	63,40	20,87	traces	»	»	traces	2,87	3,48	7,55	»	»	»	»	0,85	99,02
I	2,92	40,80	11,89	18,87	»	»	11,94	3,68	10,63	»	»	»	»	1,05	0,55	99,41
A	2,75	54,94	7,69	9,58	4,37	1,53	3,03	5,11	4,03	2,47	4,32	0,91	0,09	0,22	1,49	99,78
B	2,86	53,16	7,96	9,24	4,77	1,23	3,05	6,64	3,06	2,97	4,08	1,20	0,17	0,04	1,77	99,34

L'oligoclase présente à peu près la même composition que celui de la kersantite de Visembach, dans les Vosges, qui a été analysé par M. Delesse (1). Quant au mica, il peut être considéré comme une association isomorphe de micas magnésien et potassique. D'après M. Zickendrath, voici quelle serait la composition minéralogique des deux kersantites d'Adolfseck et d'Heimbach :

	ADOLFSECK.	HEIMBACH.
Oligoclase	32,17	37,61
Mica	27,10	15,88
Quartz	15,93	15,36
Augite pseudomorphosé	10,09	14,19
Carbonate	9,82	9,52
Fer oxydulé magnétique	2,74	4,50
Pyrite	0,17	0,32
Apatite	1,98	2,62
Somme (*)	100,00	100,00

(*) Pour obtenir des sommes égales à 100, le quartz a été estimé par différence.

M. Zickendrath considère la kersantite comme formée essentiellement d'oligoclase et de mica, qui sont associés à une proportion moindre de quartz, d'augite changé en mélanolite et de chaux carbonatée. La roche contient aussi du fer oxydulé, de la pyrite et de l'apatite.

Porphyrite.

QUENAST, LESSINES. — Les roches porphyriques de Quenast et de Lessines, déjà étudiées par M. Delesse, ont fait l'objet d'un mémoire de MM. Renard et de Lavallée Poussin (2). Les auteurs adoptent pour ces roches la dénomination de *diorite quartzifère*. Cette désignation concorde assez bien, il est vrai, avec la division sphéroïdale de la roche, si nette dans l'affleurement de Quenast, et qu'on retrouve si fréquemment dans les filons dioritiques, par exemple dans ceux du Cotentin; toutefois, la rareté de l'hornblende nous porterait plutôt à leur donner le nom

(1) *Annales des mines* [4], XIX, 164.
(2) *Mém. couronné par l'Acad. royale de Belgique*, 1876.

de *Porphyrite* qu'il convient de réserver à ces roches porphyriques à base d'anorthose.

La pâte de ces roches, examinée au microscope, se présente comme un agrégat de cristaux sans élément vitreux. L'oligoclase, l'hornblende altérée, le quartz sont les cristaux dominants : l'orthose est rare. Le quartz contient des inclusions liquides avec bulles mobiles ou libelles et des cubes dans lesquels MM. Renard et de Lavallée Poussin ont reconnu des cristaux de sel marin, au milieu d'une dissolution saturée du même sel. L'étude de ces enclaves amène les auteurs à conclure que la roche de Quenast a dû se consolider sous une pression d'environ 87 atmosphères.

L'apatite est fréquente dans les porphyrites quartzifères de Belgique. On y trouve aussi du mica biotite et du fer titané.

Une nouvelle analyse de la porphyrite de Quenast, due à MM. de la Vallée Poussin et Renard, a donné à peu près les mêmes résultats que précédemment.

Diorite.

SAINT-VÉRON. — MM. de la Vallée Poussin et Renard (1) ont encore étudié une diorite quartzifère du champ Saint-Véron (Lembecq), dont l'analyse a été faite par M. Chevron :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	PhO^5	Perte au feu.	Somme.
49,23	26,25	0,83	8,96	1,09	8,00	1,37	1,14	traces	0,05	4,70	101,62

Cette diorite présente un agrégat grenu dans lequel domine l'hornblende, et elle peut même passer à une amphibolite schistoïde. Le quartz y est vitreux et contient une multitude d'enclaves liquides. Un minéral vert poireau, fibreux et écailleux, paraît être une espèce de chlorite ; au microscope on reconnaît qu'il s'est quelquefois développé autour de l'hornblende, comme s'il résultait de son altération. Quant au feldspath, qui est essentiellement de l'anorthose, il est fortement décomposé. Les minéraux accidentels sont d'ailleurs le fer titané, l'apatite et surtout l'épidote qui s'est spécialement développée dans les fissures et dans les parties où la roche est moins cristalline. Quelques veines cristallifères ont encore été signalées par MM. de la Vallée Poussin et Renard dans cette diorite du champ Saint-Véron.

Variolite.

M. Michel Lévy s'est proposé, comme double but à atteindre, de déterminer la nature des globules de la variolite de la Durance

dont on ne peut pas attribuer la formation à un excès de silice, et de fixer le rang que les analogies pétrographiques assignent à cette roche dans une classification générale.

D'après M. Delesse, les globules sont composés d'un feldspath anorthose que M. Lory a rapporté au labrador, et M. Rammelsberg à l'oligoclase; M. Zirkel les considère comme composés d'une substance pétrosiliceuse à la façon des concrétions silicatées des rhyolites; de plus il n'admet pas d'analogie entre les variolites et les euphotides que les auteurs français considèrent cependant comme en relation intime, à cause de leurs passages et de leur association dans les mêmes gisements.

M. Michel Lévy a reconnu que les globules sont entièrement cristallisés et composés de fibres feldspathiques qui doivent être rapportées à l'oligoclase, de granules pyroxéniques et de lamelles d'actinote. La pâte contient les mêmes granules de pyroxène, beaucoup d'actinote et parfois de l'hornblende; il y existe en outre, en quantité variable, une matière amorphe verdâtre, mal définie, de nature serpentineuse. La variolite présente enfin avec une grande constance des filons et des vacuoles remplis de labrador avec du pyroxène, des aiguilles d'actinote et comme produits secondaires la même matière amorphe serpentineuse, associée à de l'opale, à de la tridymite et à du fer oligiste.

La structure des globules est, en général, arborisée; il y existe rarement un centre régulier de divergence que l'on constate presque toujours dans les globules pétrosiliceux proprement dits. La pâte est parfois fluidale et peut même présenter des indices de la structure perlitique; l'ordre de consolidation des divers éléments est le suivant : granules pyroxéniques et lamelles d'actinote des globules; oligoclase, actinote et hornblende de la pâte; ces deux derniers bisilicates sont les seuls éléments dont la consolidation soit postérieure à l'étirement fluidal.

L'auteur en terminant conclut que les globules de la variolite ne sont pas pétrosiliceux, et que la variolite, par ses affinités minéralogiques, représente le terme vitreux des euphotides dont les éléments remplissent d'ailleurs les vacuoles et les filons secondaires.

On peut distinguer dans les roches éruptives trois catégories de sphérolites dont les propriétés optiques sont différentes : les sphérolites *entièrement colloïdes; semi-colloïdes* ou *semi-cristallisés; entièrement cristallisés*. C'est à cette dernière catégorie qu'appartiennent les sphérolites de la variolite de la Durance. Leur compo-

sition chimique, déjà déterminée par M. Delesse, a été confirmée par les analyses suivantes dues à M. Michel Lévy :

	PÂTE.				GLOBULES.	
	ANALYSE I.		ANALYSE II.		ANALYSE III.	
	P. 100.	Oxygène.	P. 100.	Oxygène.	P. 100.	Oxygène.
SiO^2	45,08	24,04	45,23	24,12	56,90	30,34
Al^2O^3	22,17	10,35	19,56	9,13	19,24	8,98
FeO	12,55	2,79	13,24	2,94	6,28	1,39
CaO	6,62	1,89	5,29	1,51	9,41	2,68
MgO	13,00	5,20	14,96	5,98	5,80	2,32
KO	0,65	0,11	0,55	0,09	0,59	0,10
NaO	1,59	0,41	1,70	0,44	4,16	1,07
Somme	101,66		100,53		102,38	
Matières volatiles	5,27		5,29		2,00	
Densités	3,069		» »		2,920	
$RO : R^2O^3 : SiO^2$	10,40 : 10,35 : 24,04		10,96 : 9,13 : 24,12		7,56 : 8,98 : 30,34	

Il est facile de reconnaître que l'analyse III répond exactement à un mélange de 58 p. 100 d'oligoclase et de 42 p. 100 d'un bisilicate (pyroxène, amphibole).

Ophite.

LANDES. — MM. Eugène Jacquot et V. Raulin (1) ont constaté que l'ophite du département des Landes est habituellement associée à des brèches et à des argiles bigarrées qui contiennent une forte proportion de magnésie et se laissent facilement attaquer par les acides faibles; elle est aussi accompagnée par des dolomies grenues, par du gypse et par du sel gemme. Mais, suivant MM. Eugène Jacquot et V. Raulin, c'est à tort que ces argiles bigarrées ont quelquefois été rapportées au trias; dans l'ouest du département des Landes, elles appartiennent au crétacé. Près de Bastennes, elles sont enclavées dans le nummulitique auquel elles passent insensiblement et sont par conséquent éocènes. En définitive, on peut considérer les ophites, aussi bien que les argiles bigarrées et les roches qui leur sont associées, comme les produits d'éruptions qui ont eu lieu à différentes époques géologiques (2).

Basalte.

BOHÊME. — On doit à M. Boricky (2) des études sur les basaltes et aussi sur les phonolites de la Bohême. L'auteur a non-seulement

(1) *Statistique géologique et agronomique du département des Landes*, 230.
(2) *Revue de géologie*, VII, 105.

soumis ces roches à des recherches cristallographiques, chimiques et microscopiques très-complètes, mais il a relevé sur le terrain, pour les basaltes, plus de 1.000 coupes prises dans 400 localités différentes, et pour les phonolites, 800 coupes provenant de 120 localités.

Les basaltes de la Bohême offrent un très-grand nombre de variétés dans lesquelles on retrouve toutes celles que M. Zirkel a signalées dans son ouvrage classique. On n'y compte pas moins de 27 minéraux : augite, diopside, hornblende, diallage, bronzite, enstatite, hypersthène, biotite, rubellane, oligoclase, andésine, anorthite, labradorite, néphéline, amphigène, haüyne, noséan, grenat, mellilite, péridot, apatite, magnétite, hématite, titanite, picotite, pyrrhotine et tachylite.

M. Boricky distingue six classes de basaltes :

I. *Basaltes vitreux*, à pâte vitreuse, avec nombreux microlithes; ils renferment des cristaux d'augite, de péridot et de magnétite.

II. *B. néphéliniques.* La pâte montre une tendance à se diviser suivant les formes cristallines de la néphéline ou même à passer à un agrégat distinct des cristaux de ce minéral.

III. *B. amphigéniques.* On voit dans cette classe, comme dans la précédente, un passage graduel du magma vitreux à une pâte d'amphigène et de néphéline.

IV. *B. feldspathiques*, subdivisés en trois parties :

1° *B. mélaphyrique*, où la pâte reste en grande partie à l'état vitreux ;

2° *B. feldspathique commun*, dans lequel l'élément feldspathique est distinctement cristallisé en oligoclase ou anorthite, rarement ou jamais en labradorite ;

3° *B. à andésite* et *B. phonolitique*. où la pâte contient oligoclase, néphéline, amphigène, noséan.

V. *Trachybasaltes* dépourvus de péridot, avec pâte contenant orthose et oligoclase et rarement augite. Teneur moyenne en silice, 45 p. 100.

VI. *B. à tachylite.* Ce sont ceux de la classe précédente dans lesquels la pâte devient vitreuse.

D'après M. Boricky (1), les trois premières classes de basaltes ne contiennent que 30 à 43 p. 100 de silice, avec 5 à 10 p. 100 d'alcalis. Leur éruption date de la période oligocène. Ensuite ont apparu les basaltes feldspathiques, puis les phonolites, enfin les cinquième et sixième classes, dont l'éruption est peu éloignée de la période actuelle.

M. Boricky admet qu'il existe une relation entre l'âge des basaltes et les directions dominantes de leurs dykes.

Les *phonolites* contiennent 15 minéraux : sanidine, anorthose, amphigène, néphéline, noséan, haüyne, tridymite, hornblende, augite, magnétite, sphène, pyrite, spinelle, mica et apatite.

(1) *Archiv für die Naturw. Landesforschung von Böhmen*, II et III.

Il y a deux classes de phonolites, suivant que la néphéline ou le sanidine y dominent. L'auteur admet que les phonolites se sont épanchées à l'état visqueux ou semi-solide, ce qui est bien conforme aux caractères qu'ils présentent en Auvergne et dans le Velay.

Dolérite.

LA CHAUX DE BERGONNE. — Le plateau de La chaux de Bergogne qui domine la vallée d'Issoire présente une dolérite amygdalaire dans les cavités de laquelle M. F. Gonnard (1) a observé de la phacolite (variété de chabasie), de la mésole analysée par M. Pisani, et une troisième zéolithe rapportée par M. Damour à la christianite. Quelquefois les cavités de cette dolérite contiennent aussi de petites aiguilles d'aragonite.

Lave.

SANTORIN. — M. Fouqué (2) a reconnu que la lave de la dernière éruption de Santorin est très-siliceuse, mais que son feldspath apparent est du labrador; d'un autre côté elle contient aussi des microlithes feldspathiques qui sont de l'albite. En outre elle renferme des cristaux microscopiques de pyroxène et de fer oxydulé.

Les blocs enclavés dans cette lave de Santorin sont à base d'anorthite et M. Fouqué en a extrait aussi du pyroxène différant de celui de la lave, du péridot et du fer oxydulé.

D'autres enclaves sont à base d'oligoclase, en sorte que la lave récente de Santorin ne contient pas moins de quatre espèces d'anorthose : l'albite, l'oligoclase, le labradorite, l'anorthite.

Origine des roches éruptives et cristallines.

M. Michel Lévy (3) a observé dans une perlite de Tokay un exemple du passage des fissures perlitiques à travers les traînées pétrosiliceuses orientées par la fluidité que présente la roche. Le fait en lui-même est une exception, car ordinairement les fissures perlitiques ne se propagent pas dans les parties pétrosiliceuses des roches; elles leur sont tangentes. Mais, au point de vue théorique, l'interprétation des deux ordres de phénomènes est la même; la matière pétrosiliceuse s'est isolée avant la production des fissures perlitiques, avant la consolidation définitive de la roche.

---

(1) *Comptes rendus*, déc. 1871.
(2) *Mémoires des savants étrangers*, t. XII, n° 11. — *Comptes rendus*, LXXXI.
(3) *Comptes rendus*, 16 octobre 1876.

Des structures pétrosiliceuses encore colloïdes (globules à croix noire), on passe à des structures plus cristallines (globules à extinction) et même entièrement cristallisées (micro-pegmatites à étoilements). On trouve entre ces divers états tous les passages intermédiaires : ainsi, dans la série tertiaire, le soi-disant rhyolite de la Clotilde-Kluft à Schemnitz, est une pyroméride avec globules à extinction, contenant çà et là des débris de micro-pegmatite ; parmi les porphyres anciens du Morvan, celui des environs de Cussy-en-Morvan présente une intéressante association en zones concentriques de la matière pétrosiliceuse des globules à croix et des globules à extinction.

De ce qui précède M. Michel Lévy conclut qu'on ne peut attribuer les roches cristallines à une dévitrification de roches vitreuses ; car la structure pétrosiliceuse et toutes celles qui en dérivent ont pris naissance au sein de roches encore fluides.

ROCHES MÉTALLIFÈRES.

L'étude géologique des roches métalliques est d'une grande importance pour le mineur ; mais les limites dans lesquelles la *Revue de géologie* est obligée de se renfermer nous forcent à être très-concis sur ce sujet et à renvoyer pour plus de développement aux publications spéciales.

Étain.

East Wheal Lovell. — Le gisement du minerai d'étain a été étudié par M. Le Neve Foster (1) dans la mine East Wheal Lovell, en Cornouailles, qui a rapporté des bénéfices exceptionnels dans ces dernières années. Le granite stannifère qu'on y exploite est traversé par une veine (*leader, diviser*) de quartz et d'argile ferrugineuse dont l'épaisseur ne dépasse guère 1 centimètre. Le minerai forme, tantôt des deux côtés de cette veine, tantôt d'un seul, des amas, des colonnes ou des cheminées, qui présentent un

(1) *R. geol. Society of Cornwall.* — Annual report 1875.

mélange de quartz, de mica, de gilbertite et de cassitérite avec un peu de spath fluor, de pyrites de fer, de pyrites de cuivre, de la bornite, du cuivre sulfuré et de la chalybite.

Conformément à la théorie donnée par MM. Daubrée, de Cotta, Stelzner et par d'autres géologues, le granite, après sa solidification, a donc été traversé par des fentes et par des fissures. Ces dernières ont alors livré passage à des vapeurs ou bien à des dissolutions stannifères, qui, sur certains points, ont pu imprégner le granite, le décomposer et y déposer le minerai d'étain.

CORNOUAILLES. — M. Phillips (1), après une étude chimique et microscopique des filons stannifères et cuivreux du Cornouailles, ainsi que des roches qui leur sont associées, arrive à peu près aux conclusions suivantes :

Les fientes des filons de cuivre ou d'étain du Cornouailles sont généralement le résultat d'actions exercées après la solidification des porphyres (elvans), mais le plus souvent dans une direction générale qui est la même que celle de leur éruption. Ces fientes, produites postérieurement, sont remplies de minéraux qui résultent des actions chimiques des eaux ou de la vapeur d'eau circulant dans leur intérieur.

M. Phillips pense qu'on ne peut pas bien déterminer jusqu'à quel point les dépôts opérés dans les fientes sont dus à des eaux venant des régions inférieures, ni quelle est au juste l'influence des infiltrations latérales. Les effets que produit dans le remplissage et dans la richesse des filons la nature de la roche encaissante, montrent cependant que les infiltrations latérales doivent aussi avoir exercé de l'action.

Quant aux *stockwercks*, ils paraissent avoir été formés dans des fissures produites pendant le soulèvement des masses éruptives partiellement consolidées. L'altération qu'éprouvent les dépôts stratifiés au contact des roches éruptives semble également résulter d'infiltrations analogues.

TOSCANE. — M. Charlon (2) a signalé la découverte d'étain oxydé en Toscane, auprès de la ville de Campiglia maritima. La cassitérite y forme une veine mince, à la limite du calcaire liasique et d'un gite d'hématite brune. Sa composition est la suivante : oxyde d'étain, 89,94; oxyde de fer, 9,13; oxyde de manganèse, 0,93 ; somme, 100,00.

(1) *Quarterly Journal of the geological Society*. August, 1875.
(2) *Annales des mines* (7), IX, 119.

M. Charlon regarde cette association intime de l'étain aux minerais si nombreux du Campigliese comme une preuve de l'hypothèse, émise par M. Simonin, d'après laquelle les Romains auraient fabriqué le bronze naturel par la fusion directe d'un mélange convenable de minerais.

Fer.

Minerais de fer oxydés.

SUÈDE. — M. Sjoegren (1) a classé les minerais de fer de la Suède en trois catégories, à la fois d'après leur âge et d'après leur nature minéralogique.

1° La série la plus ancienne est celle des minerais accompagnés de quartz et de feldspath. Ce sont des oligistes ou des fers magnétiques. Ces gîtes sont généralement caractérisés par leur structure zonée ainsi que par leur liaison étroite avec la roche encaissante, gneiss ou eurite rouge. Comme exemples, l'auteur cite Graesberg et Groengesberg en Dalécarlie, Geleivara en Laponie.

2° Ensuite ont apparu les minerais associés au pyroxène et à l'amphibole (Persberg en Wermland). Ce sont des minerais magnétiques, rarement zonés et séparés de la roche encaissante par une salebande de pyroxène ou d'amphibole, avec ou sans grenat.

3° La troisième et dernière série est celle des minerais manganésifères et calcarifères (Dannemora et Langban). Ce sont généralement des fers magnétiques, parfois des oligistes; ils sont associés à du calcaire et à l'*hælleflinta*.

Ainsi, d'après l'auteur, les trois séries de gîtes ferrifères seraient des couches caractéristiques des divers étages du terrain primitif.

SERMAIZE. — Divers minerais de fer, employés aux forges de Sermaize-sur-Saulx (Marne), ont été analysés par M. Barachon (2), ingénieur, ancien élève de l'École des mines :

A Minerai de fer oolithique de la partie supérieure du néocomien; de la forêt de Trois-Fontaines (Marne).

B Minerai de fer géodique de la partie inférieure du néocomien; d'Ancerville près de Saint-Dizier (Meuse). On y distingue des cristaux de gypse.

C Minerai oolithique appartenant comme A à la partie supérieure du néocomien; de la Blaise Wassy (Haute-Marne).

D Minerai de fer oolithique de la partie supérieure du lias; il est en contact

(1) *Neues Jahrb*, 1876, 316.
(2) Lettre du 11 novembre 1876.

avec l'oolithe inférieure; de Liverdun près Frouard (Meurthe-et-Moselle).

E Minerai oolithique du même niveau que le précédent; de Laxou (Meurthe-et-Moselle).

	A	B	C	D	E
Eau et acide carbonique.	16,10	16,15	15,40	16,00	13,00
Silice.	12,35	13,75	15,30	11,75	10,50
Alumine.	11,95	9,10	10,70	8,75	4,60
Peroxyde de fer.	58,20	58,05	57,15	53,28	67,38
Peroxyde de manganèse.	»	»	»	»	traces
Chaux.	1,10	2,25	1,47	10,00	4,50
Magnésie.	traces	traces	traces	traces	traces
Soufre.	traces	0,95	»	»	»
Somme.	99,70	100,25	100,02	99,78	99,98

Pyrénées-Orientales. — M. Wickersheimer (1), ingénieur des mines, a déterminé la composition de deux minerais de fer du département des Pyrénées-Orientales :

A Minerai de fer hydroxydé pris sur un affleurement entre les schistes et les calcaires paléozoïques, près de Fontecouverte. Le filon est jalonné par des scories qui indiquent une exploitation très-ancienne.

B Fer carbonaté de l'ancienne mine de Sahorré.

	Fe^2O^3	FeO, CO^2	CaO, CO^2	SiO^2	Argile.	Alcalis.	Eau et perte.	Somme.
A	77,00	»	18,00	»	5,00	traces	10,00	100,00
B	»	88,84	1,50	5,50	»	»	4,16	100,00

Entre Mosset et Fontecouverte, M. Wickersheimer indique un filon de minerai de fer oxydé, manganésifère, qui est intercalé dans le granite.

Ouelhassa. — M. Pouyanne (2) a donné une description, accompagnée d'une carte géologique, de la région ferrifère des Ouelhassa, dans la province d'Oran, en Algérie. Les gîtes consistent en hématites très-intimement associées à des calcaires compactes appartenant à la période secondaire. On peut y comprendre accessoirement des dépôts remaniés, formés à l'époque tertiaire, dans leur voisinage, aux dépens des précédents.

M. Pouyanne attribue les calcaires ferrifères à l'époque liasique. Le calcaire est susceptible de se trouver enclavé, au milieu du minerai, en morceaux de forme et de grandeur quelconques. Il y a, d'ailleurs, passage graduel du calcaire au minerai. Aussi la

(1) *Rapport sur les analyses faites au laboratoire de Carcassonne*, 1875-1876.
(2) *Annales des mines* (7), IX, 81.

formation de ce dernier paraît-elle devoir être attribuée à l'action exercée sur le calcaire par des sources thermo-minérales, pauvres en chaux et riches en fer.

Minerai de fer des marais.

SÖGELN. — Dans les prairies de Sögeln, près d'Osnabruck, il se produit actuellement un minerai de fer qui a été analysé par M. Stohmann (1) :

Fe^2O^3	PhO^5	CaO,CO^2	MgO,CO^2	Sable et silice.	Al^2O^3 et perte.	Eau et matières organiques	Somme.
54,74	0,77	1,75	0,35	19.07	4,45*	18,87	100

* Avec un peu d'oxyde de manganèse, d'alcalis et d'acide sulfurique.

Ce minerai, qui est connu dans le pays sous le nom de *grutt*, est employé comme engrais et comme amendement pour les prairies. La présence d'ammoniaque et de matières organiques azotées, dans le minerai de fer des marais, peut, indépendamment de l'oxyde de fer, servir à rendre compte de cet usage. Dans la Chalosse, on utilise de même certains dépôts tertiaires qui sont ferrugineux.

DIVERS. — Plusieurs minerais de fer des marais ont été analysés par M. F. Senft (2) :

A Limonite, couleur de fer tirant sur un noir de poix, et formant des stalactites; de Neuenhaus (Bentheim).
B Limonite, couleur de fer, noirâtre, en tubercules qui montrent des zones concentriques; des environs de Lingen.
C Limonite, jaune-brunâtre, dont la masse est entièrement composée de mousses et de sphagnées, qui sont imprégnées d'oxyde de fer; de Lithwinsk, près Alexandrowsk, dans l'Oural.

	Densité.	Fe^2O^3	FeO	Mn^2O^3	PhO^5	Sable.	Al^2O^3	SO^3	Acide humique.	Eau et matières organiques.	Somme.
A	4,419	62,59	»	8,52	1,50	11,87	»	traces	»	16.02	100,00
B	4,750	79,36	»	»	0,27	16,66	traces	»	»	3,03	99,32
C	4,413	61,79	8,82	traces	traces	4,08	traces	»	15,80	6,20	96,69

Relativement aux minerais de fer des marais, M. Senft observe qu'ils laissent toujours un résidu de sable, lorsqu'on les attaque par

(1) A. Orth : *Geognostische Durchforschung des schlesischen Schwemmlandes*, Berlin, 1872, p. 277.
(2) *Die Humus-Marsch— Torf und Limonitbildungen, etc.* 174.

l'acide chlorhydrique : lorsqu'on les fait bouillir avec une lessive de potasse, cette dernière se colore en brun, en dégageant souvent de l'ammoniaque, et, traitée par un acide, elle donne un précipité floconneux, brun noirâtre, d'acide humique.

Certains minerais, notamment ceux qui ont une couleur brune comme la sépia, répandent, lorsqu'on les calcine, une légère odeur de pétrole ; c'est surtout ce que l'on observe pour ceux de Småland en Suède.

En résumé, les minerais de fer des sols marécageux sont formés d'hydroxyde de fer et de manganèse, mélangés à une proportion variable de sable ; mais, généralement, ils contiennent aussi des phosphates et humates de fer et, dans certains cas, un peu de chaux, de magnésie et de silice : c'est, en effet, ce qui a lieu pour les minerais de l'Ems, de Lunebourg, du Mecklenbourg, du Schleswig, du Brandebourg, de la Poméranie, de la Scandinavie, de la Russie.

Quoique le minerai de fer des marais provienne le plus souvent de bicarbonate de fer et qu'il se soit déposé dans des eaux contenant de l'acide carbonique, il est remarquable qu'il ne contienne plus cet acide ; M. Senft attribue ce résultat à la facilité avec laquelle le carbonate de fer se décompose ; parce que, sous l'influence de la lumière, les parties vertes des plantes s'emparent de son acide carbonique et qu'elles émettent de l'oxygène qui fait passer plus facilement le protoxyde de fer à l'état de sesquioxyde.

Pyrite.

FERRIERE. — D'après M. Foetterle (1) le bassin de Ferriere, dans la vallée de la Nure, présente des roches éruptives, se rapportant aux gabbros et aux serpentines, qui forment des amas et des dykes et qui surgissent au sein des couches éocènes.

Des pyrites de fer et de cuivre se montrent au contact de ces roches ou se rencontrent dans les unes et dans les autres. On a entrepris quelques travaux pour leur recherche, mais l'irrégularité et le peu de constance des gisements les ont fait abandonner.

Pyrite magnétique nickelifère.

MEINKJÆR. — Dans la Norwége méridionale, les sulfures métalliques accompagnent très-fréquemment le gabbro. On en rencontre un exemple remarquable à Bamble, dans la mine de Meinkjær.

Des dômes irréguliers de gabbro pénètrent au milieu des schistes dont ils sont séparés par une écorce de pyrite magnétique nickéli-

(1) *Bollett. del comitato geolog. d'Italia*, 1872, 164.

fère, massive, contenant des cristaux de pyrite cuivreuse et de pyrite de fer cobaltifère. Cette écorce suit les contours capricieux du gabbro et, en certains points, elle atteint 1m,80 de puissance. Les mêmes sulfures imprègnent d'ailleurs le gabbro. La pyrite de fer est en grands cristaux, et la pyrite de cuivre les entoure; mais la masse dominante est formée de pyrite magnétique, dans laquelle les deux précédentes sont seulement disséminées. On trouve aussi des cristaux de hornblende et des traces de blende dans la masse de pyrite magnétique nickélifère (1).

Chrome.

Fer chromé.

Collo. — Divers minerais de fer chromé, provenant des forêts des environs de Collo, arrondissement de Philippeville, département de Constantine (Algérie), ont été analysés au bureau d'essai de l'École des mines et ont donné de 31 à 57 p. 100 d'oxyde de chrome.

Manganèse.

Hautes-Pyrénées. — M. R. Costeau (2) ingénieur, ancien élève de l'École des mines, a étudié les gîtes de manganèse situés dans les vallées d'Aure et de Louron, département des Hautes-Pyrénées. Depuis la vallée de Luchon, jusque bien au delà de la vallée d'Aure, sur une longueur d'environ 30 kilomètres, comptés suivant la direction générale des Pyrénées, et sur une largeur de 6 kilomètres à peu près, on rencontre fréquemment des affleurements de minerais de manganèse. Ces minerais affectent la forme de lentilles, plus ou moins régulières, de dimensions très-variables, quelquefois considérables, et peuvent être considérés comme des filons-couches. Dans l'intervalle des lentilles manganésifères, le filon devient généralement très-mince, très-quartzeux, et par suite assez pauvre en manganèse.

Les minerais sont intercalés entre des bancs de schistes qui appartiennent probablement au terrain dévonien supérieur.

Ces schistes encaissants, ordinairement assez durs et dont la coloration varie du gris verdâtre au rose foncé, deviennent quelquefois très-argileux. Dans ce cas la matière qui remplit le filon se transforme souvent en une terre argileuse, manganésifère, qui

(1) Mémoire de M. Rolland, ingénieur des mines, 1876.
(2) Extrait d'une lettre à M. Delesse. Dec. 1876.

est inexploitable. Les habitants du pays appellent ces schistes, mous et très-argileux, des schistes pourris.

La direction de tous les gîtes de manganèse est à peu près celle des Pyrénées, c'est-à-dire ouest 20° nord ; quant à leur inclinaison, elle est presque constamment au nord.

Le minerai consiste en pyrolusite noire, compacte et hydratée, se présentant souvent en rognons. Sa gangue est presque exclusivement quartzeuse, rarement un peu argileuse ; jamais on n'y observe la moindre trace de chaux carbonatée, ni de baryte sulfatée. Les salebandes, quand elles existent, sont formées d'une couche très-mince d'argile.

Au minerai de manganèse sont associés des amas de quartz atteignant quelquefois d'assez grandes dimensions et colorés en rose par du silicate de manganèse ; mais la rhodonite (pyroxène manganésifère) ne se rencontre qu'assez rarement bien caractérisée et en belles lamelles roses.

C'est en examinant des échantillons de manganèse silicaté, envoyés par M. Costeau, que M. Émile Bertrand a trouvé une espèce nouvelle, la *Friedelite*, présentant la composition suivante :

SiO^2	MnO et un peu FeO	MgO, CaO	HO	Somme.
36,12	53,05	2,96	7,87	100,00

M. E. Bertrand y a constaté aussi la présence d'un minéral assez rare, l'alabandite (manganèse sulfuré).

Voici, du reste, les résultats moyens d'un nombre assez grand d'analyses qui ont été faites par M. Costeau sur le minerai de manganèse des vallées d'Aure et de Louron :

	MnO^2	MnO	Fe^2O^3	HO	SiO^2 et un peu Al^2O^3	Somme.
I	52,8	10,0	1,9	3,7	31,6	100,00
II	42,3	12,8	2,2	4,2	38,5	100,00

Quoique la composition du minerai brut soit des plus variables, les éléments dont il est formé sont constamment les mêmes : manganèse à divers états d'oxydation, peroxyde de fer, eau, beaucoup de silice et peu d'alumine. Dans le minerai provenant des territoires de Germ et de Loudervielle M. Costeau a trouvé, en outre, de l'acide phosphorique, qui est toutefois en quantité très-petite.

VILLERAMBERT.— Dans le terain dévonien de la Montagne-Noire, il y a également des gîtes de manganèse et celui de Villerambert, à l'ouest de Caunes, dans l'Aude, est susceptible d'être exploité. D'après M. Wickersheimer, ces gîtes sont intimement liés au soulèvement de la Montagne-Noire, de même que les gîtes de fer et d'autres métaux qu'on trouve dans cette région ; de plus, ils sont orientés suivant une direction E. 12° à 16° N. qui est à peu près parallèle à la chaîne de la Montagne-Noire. Du reste le manganèse imprègne fréquemment les marbres de Caunes qu'il contribue à colorer, et quelquefois même il devient tellement abondant qu'il les rend inutilisables. Dans la Montagne-Noire, comme dans les Corbières, M. Wickersheimer pense que la présence des gîtes de manganèse est en rapport avec le métamorphisme qui a produit les marbres.

CAUCASE. — Sur la rive droite de la Kwirila, M. Barbot de Marny (1) indique un minerai de manganèse très-riche dont la découverte est due à MM. Simonowith, Sorokin et Batzewitsch. Il se présente en amas ou en couches qui sont intercalées dans le terrain tertiaire. Près Seda-Gwime, une couche de pyrolusite, grenue et conchoïde, offre une épaisseur de plus d'un mètre sur une centaine de mètres de longueur. Voici d'ailleurs sa composition :

Manganèse	59,05	Fer	1,00
Oxygène	34,25	Gangue	5,70

Manganèse cobaltifère.

NOUVELLE-CALÉDONIE. — Des minerais de manganèse cobaltifères, qui étaient d'abord considérés comme de la pyrolusite, ont été rapportés de la Nouvelle-Calédonie par M. J. Garnier (2). Voici leur composition, d'après deux échantillons dont l'analyse a été faite au bureau d'essai de l'École des mines :

	SiO^2	Fe^2O^3	MnO	Co O	CaO	MgO	HO	Somme.
I	28,60	3,60	25,00	15,60	1,00	4,60	20,50	98,90
II	3,00	10,60	48,60	15,00	»	4,80	17,60	99,60

Ces minerais de manganèse contiennent donc 15 p. 100 d'oxyde noir de cobalt et l'éclat cireux particulier que prend leur rayure suffit déjà pour montrer qu'ils ne sont pas de la pyrolusite pure.

(1) *Die Fortschritte der geolog. Beschreibung Russlands in den* 1873 u. 1871, 63.
(2) Extrait d'une lettre de M. Garnier et de son *Essai sur la Nouvelle-Calédonie*

M. J. Garnier a rencontré cette pyrolusite cobaltifère : 1° dans l'anse Koumbé, au sud de l'île Ouen ; 2° dans l'Ilot Montravel ; 3° au sud-ouest du Mont-d'Or, le long du ruisseau de la Cascade ; 4° au nord du pic Ia. Elle accompagne souvent les minerais de fer, de fer chromé et d'hydrosilicate de nickel (Pimélite, Garnierite) ; sur ces derniers, elle forme de petites taches noires ou bien des dendrites.

La pyrolusite cobaltifère se présente, du reste, en nodules de grosseurs variables, qui sont disséminés dans des argiles. Ces argiles paraissent provenir de la décomposition d'euphotides et de diorites ; elles sont friables, légères et affectent les couleurs les plus diverses, le jaune, le rouge, le blanc-verdâtre ou noirâtre. Comme elles sont d'habitude très-peu recouvertes par la végétation et qu'elles se montrent à nu, l'œil est immédiatement frappé de la vivacité de leurs couleurs.

On trouve encore, dans la Nouvelle-Calédonie, des minerais beaucoup plus pauvres en cobalt, dans lesquels 3 à 4 p. 100 d'oxyde noir de cobalt sont associés à beaucoup de manganèse et aussi à du chrome.

Nickel.

La Beaume. — En visitant le filon de la Beaume, près de Villefranche d'Aveyron, où la galène argentifère est l'objet d'une exploitation, M. Daubrée (1) a eu l'occasion d'y reconnaître, dès 1868, au milieu de la galène, des minéraux contenant du nickel. Ces minéraux sont au nombre de trois.

L'un est le nickel arsenical ou nickéline, en petits grains, reconnaissable à sa couleur rouge. Un autre, d'un gris d'acier, qui forme des veinules dans le quartz-jaspe, donne au chalumeau les caractères du nickel avec un peu de cobalt, ainsi que ceux de l'arsenic : il s'y trouve de petits cristaux indistincts, dans lesquels on aperçoit des triangles équilatéraux ; c'est de la chloanthite. Le troisième, le nickel arséniaté ou annabergite, qui forme au contact de l'air des efflorescences caractéristiques par leur couleur verte. Le nickel, qui n'avait pas été signalé antérieurement dans cette localité, vient d'être rencontré de nouveau et sur le même point du filon, comme le montrent des échantillons recueillis depuis lors par M. Souhard, ingénieur de la mine. Ce point est situé au troisième niveau, à la cote de 253 mètres au-dessus de la mer, à environ 126 mètres au-dessous de l'orifice du puits et dans

(1) Lettre de M. Daubrée, déc. 1876.

la partie exploitée du filon qui est la plus avancée vers le nord-ouest.

D'après les observations de M. Daubrée, la nickeline forme des grains arrondis et enveloppés de chloanthite, dont ils constituent toujours le noyau. D'un autre côté la galène enveloppe la chloanthite d'un réseau et présente ainsi les caractères d'un dépôt postérieur au minerai de nickel. Cette disposition régulière ressort surtout très-clairement sur une face polie. Il en est de même pour la postériorité du dépôt de la sidérose qui leur est également associée.

NOUVELLE-CALÉDONIE. — Une analyse de la garnierite ou pimélite de la Nouvelle-Calédonie, faite récemment par M. Thiollier, directeur de l'usine à nickel de Septême, a donné pour ce minerai de nickel la composition suivante (1) :

Silice et gangue insoluble.	Fe^2O^3	NiO	CaO	MgO	HO	Somme.
50,00	3,50	18,50	2,65	15,75	10,00	100,40

D'après l'analyse précédente, cet hydrosilicate contient donc 14,62 pour 100 de nickel métallique et 2,45 pour 100 de fer. Son attaque est, du reste, d'autant plus facile qu'il est plus hydraté, et le nickel se dissout aussi rapidement que le fer.

La garnierite avait d'abord été signalée dans la Nouvelle-Calédonie sous la forme de veinules et d'enduits dans les joints de la serpentine; mais, à la fin de 1874, M. E. Heurteau (2) a observé un filon régulier, constituant un gisement bien défini et susceptible d'être facilement exploité.

Ce gisement est situé dans la partie méridionale de l'île, dans le massif du mont Dore. M. Heurteau a reconnu que l'hydrosilicate de nickel, mélangé d'argiles magnésiennes, est injecté dans les serpentines sous la forme d'un filon n'ayant pas moins de 1m,25 de puissance. A la suite de cette première découverte, de riches filons de même nature ont encore été trouvés, non-seulement au mont Dore, mais aussi dans le district de Païta et principalement à la côte orientale, sur les territoires de Kanala et de Ouïailou. Conformément à l'analyse précédente, les minerais fournis par ces filons contiennent environ 15 pour 100 de nickel métallique.

(1) Voir aussi *Revue de géologie*, XIII, 78.
(2) *Constitution géologique et richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie*, 1876.

Zinc.

Calamine.

PORTUGAL. — M. Max Braun (1) a observé à Elvas, en Portugal, un gisement où la calamine, associée à la galène argentifère et à la pyromorphite, se trouve en veines dans les salebandes d'un filon de porphyre traversant un massif de syénite. Jusqu'ici, les gîtes de calamine avaient surtout été observés dans les formations calcaires ou à leur contact.

Plomb.

PONTGIBAUD. — Un échantillon de mimétèse (plomb phosphoarséniaté), formé de cristaux jaune-verdâtre, à faces courbes, trouvé par M. Gonnard (2), à mi-côte de la montagne de Vaudière, près Pontgibaud, a été analysé par M. Émile Bertrand:

Oxyde de plomb.	Acide phosphorique.	Acide arsénique.	Chlorure de plomb.	Somme.
72,66	8,31	11,51	6,92	99,40

Mercure.

IDRIA. — D'après MM. Stur et Lipold (3), la formation métallifère des mines de mercure d'Idria appartient exclusivement au trias. Le mercure se rencontre aussi bien à la base qu'au sommet de l'étage. Quant aux schistes et aux grès houillers, qui paraissent former le toit du gisement, c'est par suite d'une dislocation, accompagnée de renversement, qu'ils ont été amenés dans cette situation anormale.

Cuivre.

NOUVELLE-CALÉDONIE. — Dans son voyage d'exploration à la Nouvelle-Calédonie, exécuté en 1874, M. Heurteau (4) signale les mines de cuivre qui se trouvent à l'extrémité septentrionale de l'île, sur la rive droite du Diahot. Il y décrit deux systèmes très-étendus de filons cuprifères, et, bien que leurs affleurements

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 538.
(2) *Minéralogie du département du Puy-de-Dôme*, 1876, 120.
(3) *Jahrb. d. K. K. g. R.* — *Revue de géologie*, XIII, 81.
(4) *Constitution géologique et richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie*, 1876. — *Revue de géologie*, XI, 79.

n'aient encore été explorés que très-superficiellement, on y a déjà reconnu des gisements d'une certaine importance, notamment ceux qui sont exploités aujourd'hui par la compagnie des mines de Balade. Le minerai se compose de cuivre pyriteux, de cuivre oxydulé et de cuivre natif. De même que l'or, le cuivre est en filons qui sont encaissés dans les terrains anciens formant la partie nord de la Nouvelle-Calédonie.

Argent.

TROITZKA. — M. von Beck (1) a donné quelques détails sur un nouveau gisement de minerai d'argent découvert par M. de Kulibin dans le district de Troitzka (gouvernement d'Orembourg). Le minerai forme les salebandes d'un filon de quartz, traversant verticalement les schistes micacés et ayant une épaisseur qui atteint parfois 1 mètre. Le quartz ne présente aucune trace d'argent. Ce métal est concentré dans les salebandes, dont la puissance totale ne dépasse pas 17 centimètres, et il y existe en combinaison avec le chlore, le brome et l'iode. Sa distribution, aussi bien en direction qu'en profondeur, paraît irrégulière. Le filon n'est encore exploré que sur 20 mètres de profondeur. Il paraît qu'à sa limite inférieure on commence à trouver de l'or natif. Du reste, sa direction est parallèle à celle de plusieurs filons aurifères déjà connus dans la contrée et orientés vers le nord-ouest.

Les salebandes minéralisées sont ocreuses et le minerai s'y trouve en cristaux microscopiques ou en plaquettes minces.

Or.

MINAS GERAES. — Dans le village de Congonhas de Sabara, M. Gorceix (2), directeur de l'École des mineurs d'Ouro Preto, a exploré une mine d'or qui est exploitée par la compagnie de Morro Velho. L'or s'y trouve dans une couche atteignant 100 mètres de puissance. Cette couche est constituée par un quartzite, associé à de la pyrite de fer et à de la pyrite magnétique. La teneur en or est variable, mais elle dépasse souvent 25 grammes par tonne.

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 162.
(2) Lettre à M. Delesse, 20 juillet 1876.

Météorites et roches analogues.

Les météorites du Musée de l'Université de Bonn, qui sont au nombre de 65, ont été décrites et classées d'après la méthode de G. Rose (1), par M. G. vom Rath (2) :

I *Météorites ferrugineuses.*

a Fer météorique, comprenant les fers natifs, qui, traités par l'acide, donnent les figures de Widmannstätten.

b Pallasite qui, dans une masse de fer météorique, présente des grains de silicates, composés de péridot ou de bronzite.

c Mésosidérite, mélange grenu de fer nickelé, de péridot, d'augite et de troïlite.

II *Météorites pierreuses.*

Chondrite présentant une pâte fine, avec grains de péridot, de fer nickelé, de pyrite magnétique, de fer chromé et des petits globules.

Manégaumite consistant en un agrégat grenu de bronzite, trouvée à Manégaum dans l'Inde et aussi en Westphalie.

Chladnite, agrégat grenu d'enstatite.

Eukrite, agrégat cristallin et grenu d'anorthite et d'augite.

— M. Story-Maskelyne a trouvé dans une météorite de Breitenbach une modification rhombique de la silice à laquelle il a donné le nom d'*Asmanite*. L'examen de cette nouvelle substance a donné à M. vom Rath (3) :

Densité.	SiO^2	FeO	MgO	Somme.
2,247	96,30	1,60	1,10	99,00

Fer natif.

NENNTMANSDORF. — Le fer natif, trouvé en 1872 à Nenntmansdorf (Saxe), a été étudié par M. Eugène Geinitz (4). Il est d'une couleur gris-de-fer, a une densité de 6,21, et il contient dans ses parties les plus pures :

Fe	Ni	Ph	Somme.
93,04	6,16	0,22	99,42

On y distingue des nodules, des veines et quelquefois même des cristaux brillants dont la densité est de 3,98. L'analyse des cris-

(1) *Neues Jahrb.*, 1876 67.
(2) *Revue de géologie*, III, 135.
(3) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1250.
(4) *Neues Jahrbuch*, 1876.

taux a donné à M. F. E. Geinitz 63,82 de fer et 37,36 de soufre; par conséquent, ils se rapportent à la troïlite FeS et non pas à la pyrite magnétique. Cette troïlite présente la même composition que celle de Seelasgen, examinée par M. J. D. Dana. Comme cette dernière, elle ne renferme pas de nickel.

De même que le fer natif d'Ovifak, celui de Nenntmansdorf contient du chlorure de fer qui s'y trouve irrégulièrement disséminé et, absorbant l'humidité de l'air, vient perler en gouttelettes à sa surface.

M. F. E. Geinitz rappelle, du reste, que le chlore a été reconnu dans plusieurs fers natifs ou météoriques, et, qu'en le recherchant spécialement, on le retrouverait sans doute dans un plus grand nombre.

CAP. — M. J. L. Smith (1) a analysé un fer météorique tombé en 1862 à Victoria-West, dans la colonie du Cap (Afrique). Ce fer météorique pesait 3k,25; il était très-riche en schreibersite et oxydé à sa surface :

Densité.	Fe	Ni	Co	Cu	Ph	Somme.
7,692	88,83	10,14	0,53	traces	0,28	99,78

Météorite.

IOWA. — La météorite tombée le 12 février 1875 dans le comté Iowa (Amérique du Nord) a été étudiée par MM. Hinrichs, Lawrence Smith, Daubrée et récemment par M. Gümbel (2). Elle appartient à la classe des chondrites de Gustave Rose ou des sporadosidérites de M. Daubrée. Sa densité est 3,75. Pour déterminer sa composition, M. Gümbel l'a réduite en poudre et en a séparé avec soin le fer météorique. Les analyses qu'il a faites avec M. Ad. Schwager ont donné :

Fer nickelé	12,32
Troïlite	5,25
A — Partie soluble dans l'acide chlorhydrique	48,11
B — Partie insoluble dans l'acide chlorhydrique	34,32
	100,00

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	MnO	MgO	CaO	CrO^3	NaO	KO	HO	Somme.
A	38,38	1,01	28,58	0,53	31,49	traces	»	traces			99,99
B	53,96	2,01	25,18	traces	8,91	4,01	1,42	2,39	1,67	»	99,58

(1) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1251.
(2) *Académie des sciences de Munich*, 4 décembre 1875.

Le fer nickelé contient des traces de cobalt, de cuivre et de soufre. Sa formule est à peu près $Fe^{5}Ni$.

La partie soluble dans l'acide A donne 1 pour le rapport d'oxygène entre la silice et les bases, ce qui conduit naturellement à penser qu'elle est formée par un péridot riche en fer.

La partie insoluble dans l'acide B est assez complexe; elle contient un peu de fer chromé.

L'examen microscopique a montré à M. Gümbel que la masse pierreuse de cette météorite est composée de lamelles inégales de péridot et d'une sorte d'augite, qui paraissent provenir des débris d'une roche. D'autres minéraux leur sont mélangés; on y trouve, en particulier, une substance feldspathique. Le ciment de la météorite semble résulter de la trituration de ces divers minéraux.

La roche est en partie constituée par des espèces de globules qui paraissent arrondis mécaniquement; ils sont formés de péridot, de minéraux lamelleux enchevêtrés, de masses rayonnées et fibreuses. Il y en a qui paraissent appartenir à une substance feldspathique.

Le fer nickelé est interposé entre les esquilles minérales et les globules, comme s'il provenait d'une réduction qui aurait eu lieu postérieurement.

M. Gümbel (1) a spécialement étudié la croûte noirâtre qui recouvre la météorite d'Iowa. Sa densité est 3,55. Elle est vitreuse, monoréfringente et présente dans certains endroits un grand nombre de bulles et de pores. Son épaisseur devient plus grande au voisinage du sulfure de fer qu'au voisinage du péridot. Elle a une couleur très-foncée, vert-bouteille ou brun-rouge. Tout indique qu'elle provient d'une fusion éprouvée par la météorite à son arrivée dans l'atmosphère terrestre.

Il importe d'observer que la météorite d'Iowa, si l'on en excepte sa croûte extérieure, ne présente aucune trace de fusion. M. Gümbel n'y a pas rencontré des parties vitreuses ou ressemblant à des laves. Il est clair qu'elle ne provient pas de la cristallisation d'une masse fondue, ainsi que l'avaient constaté déjà MM. Haidinger, Zirkel et Tschermack. C'est au contraire une roche fragmentaire ou clastique dont les débris n'ont en rien les caractères des cendres volcaniques. On ne doit donc pas chercher son origine dans des éruptions comme celles que pourraient produire, par exemple, les volcans de la lune; mais il est probable, surtout si l'on remarque que des chondrites sont très-fréquentes

(1) *Revue de géologie*, XIII, 86.

parmi les météorites, que ces roches sont les débris de corps célestes, soit d'astéroïdes, soit, comme le pense M. Stanislas Meunier, de quelque satellite de la terre.

Origine des alvéoles existant à la surface des météorites.

Comme l'observe M. Daubrée (1), la configuration extérieure des météorites est très-remarquable, non-seulement par sa forme fragmentaire, mais aussi par la présence très-fréquente de dépressions arrondies d'une forme caractéristique que l'on a quelquefois comparées à des *coups de pouces* et qu'on peut désigner sous les noms d'*alvéoles arrondies* ou *cupules*. Ces cavités se rencontrent dans les météorites de toutes sortes, dans les sporadosidères, les syssidères et les holosidères; elles ne sont nulle part mieux prononcées que dans ces dernières.

Quelle peut en être la cause?

Il paraissait naturel de l'attribuer à un éclatement qui se serait produit à la surface de ces corps, lorsqu'ils ont été brusquement surpris par la chaleur, au moment de leur entrée dans l'atmosphère; mais les essais que M. Daubrée a faits d'abord dans cette voie n'ont pu aboutir à imiter les surfaces alvéolaires.

M. Daubrée a eu alors recours à un autre genre d'action auquel il a été conduit par l'examen des grains de poudre, en partie comburés, qui tombent devant la bouche d'un canon.

En plaçant dans une chambre parfaitement close, où l'on fait brûler de la poudre, des ellipsoïdes en zinc, ces ellipsoïdes, immédiatement après la déflagration, sont creusés d'alvéoles qui ressemblent tout à fait à celles des météorites. L'imitation n'a pas été moins complète sur du fer.

Les gaz très-chauds, dont la pression pendant un instant dépasse 1.000 atmosphères, taraudent des séries de cavités dont l'examen dénote l'existence de mouvements gyratoires très-énergiques. Cela explique comment, dans une très-faible partie de seconde, ces gaz creusent ou taraudent, exactement comme le feraient des corps solides très-durs, des métaux, tels que le fer et le zinc.

De même, quand une météorite entre dans notre atmosphère, elle est soumise, de la part de l'air qui la frappe, à une pression très-forte et à des mouvements gyratoires violents. Cette action mécanique est en général accompagnée d'une action chimique due à la nature combustible, à ces hautes températures, des roches météo-

(1) *Expériences faites pour expliquer les alvéoles de forme arrondie que présente très-fréquemment la surface des météorites.* — *Comptes rendus*, T. LXXXII, p. 949.

ritiques, lorsqu'elles consistent entièrement en fer métallique, ou bien lorsqu'elles sont simplement parsemées de grains de ce métal.

Les poussières et les vapeurs produites instantanément par ces affouillements, doivent contribuer à former ces traînées de fumée, qui marquent dans l'atmosphère la trajectoire de la météorite et persistent quelquefois assez longtemps, même pendant plusieurs heures après son passage.

TROISIÈME PARTIE.

TERRAINS.

TERRAINS PALÉOZOÏQUES.

TERRAIN ANTÉSILURIEN.

SAXE. — M. Rudolf Credner (1) a décrit le système des schistes verts (grünschiefer) d'Hainichen, en Saxe. Il distingue, de bas en haut, les assises suivantes : 1° schistes cornés, masse compacte de quartz, d'anorthose et de magnétite; 2° schistes verts zonés; les bandes claires sont formées d'épidote, d'anorthose, d'orthose, de calcite; les bandes foncées, d'hornblende, de magnétite et d'anorthose; 3° schistes verts proprement dits, de même composition que les bandes foncées; 4° phyllites à mica séricite et brèches.

L'ensemble de cette formation fait partie du système de schistes cristallins qui entoure les leptynites de la Saxe. Il est recouvert en discordance par le terrain silurien.

Eozoon canadense.

M. Hahn (2) a fait une étude microscopique détaillée de l'Eozoon

---

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 435.
(2) *Neues Jahrb.*, 1876, 687.

du Canada. Il y a reconnu quatre couches distinctes : 1° des cristaux de magnésie carbonatée dans une pâte amorphe; 2° une masse de serpentine pure, traversée par des veines de chrysotile, dans laquelle se perdent irrégulièrement les cristaux de magnésie carbonatée; 3° des alternances de bandes parallèles de calcaire et de serpentine. Les bandes calcaires contiennent des cristaux d'aragonite, et dans les grains ou individus isolés où l'on observe le prétendu système de canaux, la serpentine est entourée d'une couche de chrysotile ou serpentine fibreuse dont les aiguilles isolées sont des cristaux et non des tubes; 4° une couche à structure grenue formée par un mélange de péridot olivine et de serpentine. Souvent la plus grande partie du calcaire est grenue et à texture fluidale.

Ainsi, d'après l'auteur, l'Eozoon serait simplement une roche résultant de la transformation en serpentine de péridot injecté dans une masse pâteuse de calcaire. On peut même ajouter que rien ne s'oppose à ce que la serpentine ait été injectée directement ; c'est notamment ce qui paraît avoir eu lieu pour la pyrosclérite dont les veines forment un réseau dans le calcaire saccharoïde du Saint-Philippe (Vosges).

M. Dawson (1) n'en persiste pas moins à défendre la nature animale de l'Eozoon, et il a consacré à la défense de cette thèse un volume entier où il fait ressortir ce qu'il considère comme les caractères organiques de ce fossile.

Toutefois, même en admettant que l'Eozoon doive conserver le rang que MM. Carpenter et Dawson lui attribuent dans la série animale, il ne paraît pas que sa position géologique soit aussi ancienne qu'on l'avait admis. En effet, M. J. Hall (2) a signalé une discordance marquée entre le formation laurentienne et le calcaire serpentineux du Nord de l'État de New-York; ce calcaire repose sur les tranches redressées des gneiss laurentiens, et il fait tout au plus partie du huronien ; peut-être même est-il de l'âge de Potsdam.

M. Hall se demande si la même conclusion ne devrait pas être appliquée aux calcaires à Eozoon du Canada. Il semble que telle est l'opinion de M. Vennor, membre de la commission géologique canadienne.

---

(1) *The dawn of life.* London, 1875.
(2) *Americ. Journ.* [3], XII, 298.

TERRAIN SILURIEN.

NORD DE L'EUROPE. — M. Hicks (1) a présenté sur les conditions physiques qui dominaient à l'époque silurienne des considérations qui sont en désaccord avec les idées le plus généralement reçues. Il admet qu'à cette époque il y avait dans l'hémisphère nord des continents très-étendus, traversés par de hautes montagnes et couverts en grande partie de neige et de glace; c'est à cette cause qu'il attribue les nombreux conglomérats et les grès du Cambrien, ainsi que leur pauvreté relative en restes organiques. Le climat était caractérisé au début par un froid intense, sinon extrême, et s'adoucissait après chaque période de dépression. Vers la fin de l'époque paléozoïque, de larges surfaces s'étant de nouveau soulevées à de grandes hauteurs, le climat dut redevenir rigoureux.

Il nous paraît difficile que les idées purement théoriques de M. Hicks puissent prévaloir contre tant de faits bien établis qui semblent légitimer l'hypothèse qu'aux premières époques de l'histoire du globe la température était à la fois plus douce et plus uniforme que de nos jours.

D'ailleurs les faits mêmes sur lesquels s'est appuyé M. Hicks sont en partie contestés par M. Linnarsson (2). Ainsi, pour ce savant, les couches à Paradoxides de Suède de même que les grès à fucoïdes et à Eophyton qui les supportent sont au moins aussi anciens, sinon plus, que les couches cambriennes du pays de Galles; d'autre part la nature des schistes à Olenus et à Paradoxides indique une mer profonde, sans aucun indice de conditions littorales.

Cependant M. Hicks (3) persiste à regarder l'ensemble des faunes du bassin silurien de la Baltique comme ayant le facies du silurien plutôt que celui du cambrien. Les couches à Paradoxides seraient pour lui l'équivalent de la partie supérieure du ménévien, au-dessous duquel on observe encore, dans le pays de Galles, près de 1.000 mètres de couches fossilifères à Plutonia, Conocoryphe, Agnostus, Discina, Obolella, Lingulella, etc.

GRANDE-BRETAGNE. — M. Marr (4) a reconnu l'existence de couches cambriennes fossilifères près de Carnavon. D'après M. Hicks, les fossiles sont ceux du groupe d'Arenig, et la roche qui les con-

(1) *Geol. Society*. 5 janv. 1876.
(2) *Geol. Mag.*, 1876, 145.
(3) *Geol. Mag.*, 1876, 379.
(4) *Geol. Society*, 8 mars 1876.

tient est analogue à l'une de celles qu'on observe à Saint-David. Avec de nouvelles espèces de Caryocaris et d'Æglina, on a trouvé les Didymograpsus indentus, D. bifidus, D. Murchisoni, et plusieurs espèces de Barrandea, Trinucleus, Lingula, Obolella, Discina.

M. Alleyne Nicholson (1) a fait remarquer que les différents horizons de graptolites reconnus en Suède par M. Linnarsson se retrouvent également en Angleterre.

Les schistes à Olenus et à Dictyonema ont leur équivalent dans le groupe de Tremadoc.

Les schistes inférieurs à graptolites, qui renferment les Phyllograptus, Tetragraptus et Didymograptus, correspondent indubitablement aux schistes de Skiddaw, ainsi qu'au groupe de Québec, et, comme en Suède, ces schistes reposent sur des couches à fossiles du silurien inférieur; l'âge des couches de Skiddaw et de Québec, jusqu'ici controversé, est fixé avec certitude.

Les schistes moyens ont leur équivalent dans les schistes inférieurs de Moffat.

Les schistes supérieurs équivalent aux schistes de Coniston, ainsi qu'aux couches à graptolites de Carinthie.

Enfin, de même qu'en Norwége et en Suède, on trouve dans le silurien supérieur une cinquième zone avec Monograpsus priodon et Retiolites Geinitzi, de même ces espèces existent en Angleterre dans le silurien supérieur de l'Écosse et du Pays de Galles.

M. Lapworth (2) a fait une étude spéciale de la distribution des graptolites dans le terrain silurien de l'Écosse. Ces fossiles abondent dans la série dite de Moffat; mais quant à la division des monograptides, ils ne commencent à apparaître qu'au sommet de cet étage, pour devenir extrêmement abondants au milieu des couches dites de Birkhill, qui correspondent au Llandovery inférieur.

Normandie. — M. G. Dollfus (3) a décrit un fossile provenant des schistes cambriens des Moitiers d'Allonne, et où il croit avoir reconnu une actinie, à laquelle il donne le nom de Palæactis vetusta.

Bretagne: — M. Delage (4) a observé dans les tranchées du chemin de fer de Rennes à Redon les assises siluriennes suivantes, classées de haut en bas :

---

(1) *Geol. Mag.*, 1876, 216.
(2) *Geol. Mag.*, 1876. 368.
(3) *Mém. Soc. des sc. natur. de Cherbourg*, 1875.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 226.

Grès fissiles.
Schistes ardoisiers à Calymene Tristani, avec grès et poudingues intercalés.
Grès à bilobites.
Schistes rouges.
Schistes de Rennes.

Des corps analogues aux bilobites ayant été rencontrés dans les schistes de Rennes, M. Delage réunit les trois assises inférieures en un seul système, contemporain des couches à Paradoxides de Bohême.

ANJOU. — M. Farge (1) a reconnu la présence dans le département de Maine-et-Loire d'un horizon très-constant de quartzites noirs qui se suit depuis Mozé par Denée, Saint-Martin-du-Fouilloux et la Pouëze jusqu'à Verne et qui est caractérisé par les graptolites. On y trouve Graptolites Becki, Diplograpsus folium, D. pristis.

Ces quartzites reposent sur les schistes ardoisiers à calymènes, dont la base, fréquemment à l'état de minerai de fer, s'appuie elle-même sur le grès à bilobites.

RÉGION RHÉNANE. — La grauwacke à spirifères de Coblentz avait passé jusqu'ici pour le terme le plus inférieur de la série paléozoïque dans la région rhénane. On vient cependant de découvrir en Nassau, à Greiffenstein, près d'Herborn, une assise de quartzites blancs contenant de nombreux pentamères évidemment siluriens. Comme déjà M. Koch a exprimé l'opinion que les schistes tégulaires de Wissembach sont plus anciens que la grauwacke à Spirifères, M. Roemer (2), adoptant cette manière de voir, rattache ces schistes aux étages F et G de M. Barrande, en raison de la prédominance des goniatites et des orthocères; il trace entre eux et la grauwacke de Coblentz la limite du silurien et du dévonien dans la contrée du Rhin.

THURINGE. — D'après M. Richter (3), les schistes siluriens supérieurs de la Thüringe se divisent en deux assises : une assise inférieure riche en graptolites, formée par les schistes siliceux et alunifères inférieurs, le calcaire à Orthoceras bohemicum et Cardiola interrupta, et les schistes siliceux et alunifères supérieurs; et une assise supérieure à tentaculites, comprenant les calcaires

(1) *Le Puy*, 1873.
(2) *Zeit. d. d. g. G.*, XXVI. 752.
(3) *Zeit. d. d. g. G.*, 1875. 261.

noduleux à Ctenacanthus, Tentaculites acuarius et Favosites gothlandica, puis les couches à Nereites et les schistes à Tentaculites cancellatus, enfin les schistes alunifères limites, jusqu'ici dépourvus de fossiles.

Cet ensemble repose, dans les environs de Saalfeld, par les schistes inférieurs à graptolites, sur les couches à Phycodes. Les deux horizons de schistes à graptolites sont concordants, et il n'y a que deux espèces de l'horizon supérieur qui ne se retrouvent pas dans l'inférieur.

HARTZ. — On avait signalé déjà, mais sans en faire connaître la provenance d'une manière certaine, des gisements de graptolites dans le Hartz inférieur. Après en avoir retrouvé la place et avoir suivi ces gisements sur une grande longueur au sud-est du Ramberg, M. Lossen (1) en a trouvé de nouveaux dans les environs de Thale sur le côté nord de la selle formée par la grauwacke de Tanne.

SUÈDE.—M. Linnarsson (2) a donné une classification nouvelle des couches à Paradoxides de Suède qui sont situées à la partie inférieure des schistes alunifères. Il distingue six horizons, qui sont de haut en bas :

1. Couches à Agnostus lævigatus,
2. — à Paradoxides Forchhammeri,
3. — à P. Œlandicus.
4. Couches à P. Davidis,
5. — à P. Tessini.
6. — à P. Kjerulfi.

Les couches à Paradoxides contiennent, en outre, un Leperditia, des Hyolithus et des Brachiopodes; ces derniers se rencontrent surtout dans les couches à Paradoxides Forchhammeri. On observe des Orthis, Lingula, Obolus, Obolella, Acrotreta, Acrothele, Kutorgina, Iphidea.

La faune totale des couches à Paradoxides comprend 61 espèces, savoir : 44 Trilobites, 1 Leperditia, 3 Hyolithus, 12 Brachiopodes et 1 spongiaire.

M. Linnarsson (3) a dressé le tableau suivant pour l'ensemble des dépôts siluriens et cambriens en Suède :

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 576.
(2) *Neues Jahrb.*, 1876, 680.
(3) *Geol. Mag.*, 1876, 241.

1. Couches à Encrinurus,
2. Calcaire à Leptæna,
3. Schistes supérieurs à Graptolites,
4. Schistes à Brachiopodes,
5. Schistes à Trinucleus,
6. Calcaire à Chasmops,
7. Schistes moyens à Graptolites,
8. Calcaire à Orthocèras.
9. Schistes inférieurs à Graptolites,
10. Calcaire à Ceratopyge,
11. Schistes à Dictyonema,
12. — à Olenus,
13. — à Paradoxides,
14. Grès à fucoïdes,
15. Grès à Eophyton.

Il y a donc trois niveaux de schistes à Graptolites, contenant les genres Dichograptus, Phyllograptus, Tetragraptus, Didymograptus, Dicellograptus, Dicranograptus, Climacograptus, Diplograptus, Graptolithus, Rastrites et Retiolites. En outre, les graptolites apparaissent déjà dans les schistes à Dictyonema, où, indépendamment de cet organisme, que M. Linnarsson classe avec les Graptolites, on trouve le genre Dichograptus.

Scanie. — M. Lundgren (1) a trouvé en Scanie, dans les grès de Ramsåsa et d'Oefvedskloster, des fossiles qui permettent de rattacher cette formation au silurien supérieur, sur l'horizon du sommet du groupe de Ludlow. Ce sont les Beyrichia Salteri, B. Buchi, Leperditia Angelini, Tentaculites tenuis, Grammyssia cingulata, etc.

Australie. — Mr M'Coy (2) a reconnu dans le silurien de la colonie de Victoria la présence du Phacops caudatus et celle d'un Homalonotus très-voisin de l'H. delphinocephalus. La première de ces espèces est caractérisée, aux Antipodes comme en Angleterre, par le grand nombre de ses variétés.

Dans la Nouvelle-Galles du Sud, M. de Koninck (3) constate la présence de 59 espèces siluriennes appartenant à l'étage supérieur de la formation; 13 seulement sont nouvelles et 8 douteuses, 32 occupent la base de l'étage formée par des roches argileuses qui correspondent au Llandovery superieur, 27 se rencontrent dans des quartzites avec calcaire cristallin qui paraissent être l'équivalent du groupe de Ludlow.

Rensselaer. — M. Ford (4) a poursuivi ses recherches sur la faune primordiale du comté de Rensselaer, dans l'Amérique du Nord. Les espèces trouvées par lui dans le calcaire conglomérat de

(1) *Jahresbericht der Univ. Lund.* — *Neues Jahb.*, 1875, 764.
(2) *Geol. Mag.*, 1876, 328.
(3) *Recherches sur les fossiles paléoz. de la Nouvelle-Galles du Sud.* Bruxelles, 1876.
(4) *Americ. Journ.* [3], XI, 369.

Lansingburgh sont les Olenellus asaphoïdes, Conocephalites trilineatus, Microdiscus speciosus, Hyolithes americanus, H. impar, Hyolithellus micans, Stenotheca rugosa, Obolella desquamata, O. nitida. Toutes se rencontrent également dans les calcaires du Postdam inférieur à Troy, où l'on trouve, de plus, le Microdiscus Meeki.

WAHSATCH. — M. Clarence King (1) a reconnu l'existence de la faune primordiale dans les monts Wahsatch, sur les bords du canton de Cottonwood. Cette faune est représentée par des espèces nouvelles appartenant aux genres Obolella, Conocephalites, Crepicephalus, Dicellocephalus, Agnostus.

Au-dessus vient un groupe synchronique de l'étage de Québec, que recouvre une formation contenant les fossiles de l'horizon inférieur d'Helderberg, notamment Pentamerus galeatus.

TERRAIN DÉVONIEN.

RÉGION FRANCO-BELGE. — M. Mourlon (2) a continué ses études sur l'étage des psammites du Condroz (3) en suivant cet étage dans le bassin de Theux, entre La Chapelle et Ath, et dans le Boulonnais. L'auteur a reconnu que les quatre divisions primitivement établies par lui s'appliquent également à ces régions nouvelles, mais que, sur certains points, plusieurs d'entre elles peuvent faire complétement défaut; ainsi les grès à Cucullæa du Boulonnais représentent seulement les grès de Montfort, et tout le reste de l'étage typique des psammites du Condroz est absent.

MM. Mourlon et Crépin (4) ont étudié les dépôts dévoniens de la bande septentrionale du Condroz; leurs travaux ont confirmé les assimilations établies par M. Gosselet (5) entre cette bande et la série du rhénan de l'Ardenne. Des fossiles végétaux ont été trouvés en divers points. Le grès de Wéplon a fourni Lepidodendron Gaspianum; cette espèce, avec Archæocalamites radiatus, se retrouve dans les grès de Naninnes.

M. Gosselet (6) a constaté que, sur le littoral de l'Ardenne, le calcaire de Givet est essentiellement caractérisé par l'abondance

(1) *Americ. Journ.* [3], XI, 475.
(2) *Bull. Acad. royale de Belgique* [2], XL, 761.
(3) *Revue de géologie*, XIII, 96.
(4) *Bull. Acad. royale de Belgique* [2], XLI.
(5) *Revue de géologie*, XII, 114.
(6) *Soc. géol. du Nord*, III,

des stringocéphales, des Cyathophyllum quadrigeminum et Spirifer mediotextus. Ces fossiles peuvent s'y trouver à toutes les hauteurs.

A Mâcon et à Couvin, il existe sous le calcaire de Givet un niveau à Orthoceras nodulosum qui doit être rapproché des schistes à calcéoles, tandis que les bancs à Spirifer Verneuili et Aviculopecten Neptuni qui, sur les rives de la Meuse, recouvrent le calcaire, se rattacheraient aux schistes de Frasne.

M. Gosselet signale une faille, dirigée à peu près nord-sud, qui passe sous la citadelle de Charlemont et sépare en deux le massif de Givet.

Le calcaire de Givet ne représente qu'une partie du calcaire eifélien de Dumont ; l'autre partie, de beaucoup la plus importante de part et d'autre de la crête du Condroz, doit, selon M. Gosselet, être réunie au calcaire de Frasne, qui fait partie du dévonien supérieur.

M. de Koninck (1) a décrit quelques espèces fossiles trouvées, à Gedoumont et à Mondrepuits, par MM. G. Dewalque et Malaise, dans l'étage gédinien, c'est-à-dire à la base du dévonien. Il a reconnu les Cystiphyllum profundum, Cyathophyllum binum, Primitia Jonesi, Beyrichia Richteri, Homalonotus Roemeri, Chonetes Omaliana, Strophomena rigida, Orthis Verneuili, etc.

En résumé, la faune du gédinien comprend 25 espèces offrant un facies dévonien assez net, malgré quelques analogies siluriennes.

M. de Koninck fait observer que plusieurs de ces espèces ont été retrouvées par M. Roemer dans les quartzites du mont Dürr, dans la Silésie autrichienne ; ces quartzites correspondraient donc au gédinien et non à la grauwacke de Coblentz.

STOLBERG. — M. Gosselet (2) a étudié le terrain dévonien des environs de Stolberg, et a constaté sa grande analogie avec celui de la bordure orientale du bassin de Dinant. La partie supérieure des couches à Rhynchonella cuboïdes et les schistes à Cardium palmatum y sont même mieux développés. Le calcaire à stringocéphales est fort réduit, et la grauwacke à spirifères renferme des schistes rouges qu'on a confondus avec ceux du système gédinien.

M. Gosselet n'admet pas que le terrain dévonien de Stolberg ait été redressé en même temps que le silurien. La concordance apparente des deux systèmes devrait être attribuée à une faille oblique.

(1) *Soc. géol. de Belgique*, III, 25.
(2) *Soc. géol. du Nord*, III, 8.

Pyrénées. — D'après M. Leymerie (1), le terrain dévonien des Pyrénées se partage en trois assises :

1° Assise inférieure; calcaires et calschistes à Phacops et Encrines;

2° Assise moyenne; marbres griottes à Goniatites (G. retrorsus), Clyménies, Encrines et Orthocères;

3° Assise supérieure; schiste bleuâtre, à divisions pseudorhomboïdales.

Australie. — M. de Koninck (2) a étudié la faune dévonienne de la nouvelle Galles du Sud. Cette faune, recueillie par M. Clarke, comprend 67 espèces, dont 30 sont nouvelles. Le dévonien supérieur est indiqué par les Strophalosia productoïdes, Chonetes coronata, Rhynchonella pleurodon, Spirifer disjunctus. Les autres espèces indiquent un horizon un peu inférieur, mais situé encore au-dessus du niveau de la Calceola sandalina.

Wahsatch. — M. Clarence King (3) a constaté que la formation dévonienne est bien représentée dans les monts Wahsatch. Les fossiles de cet étage indiquent les assises d'Helderberg, de Chemung, de Genesee et de Waverly.

TERRAIN CARBONIFÈRE.

Yorkshire. — D'après M. Lebour (4), l'étage du terrain carbonifère connu sous le nom de *série d'Yoredale,* et développé surtout dans le Yorkshire, n'est qu'une division locale, qu'il est impossible de poursuivre soit par la stratigraphie, soit par la paléontologie, quand on s'avance vers le nord. Presque tous les fossiles réputés caractéristiques de la série d'Yoredale, dans le Northumberland, se retrouvent dans les bancs inférieurs du terrain carbonifère, et la couche de trapp qui sépare les couches d'Yoredale du *scar-limestone* sous-jacent est, suivant M. Lebour, une couche d'intrusion et non une nappe épanchée entre les deux dépôts par suite d'une interruption dans la sédimentation. Aussi l'auteur accepte-t-il pleinement les vues de M. Ramsay, pour qui toute la série carbonifère forme un seul ensemble, où la diversité des dépôts provient seulement des circonstances particulières de

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 546.
(2) *Recherches sur les fossiles paléoz. de la Nouvelle-Galles du Sud.* Bruxelles, 1876.
(3) *Americ Journ.* [3], XI, 479.
(4) *Brit. assoc.*, 1875. — *Geol. Mag.* 1875, 539.

leur formation, tantôt en pleine mer, tantôt dans le voisinage des côtes ou même dans des lagunes continentales.

M. Davis (1) a décrit une couche à ossements de poissons qui se trouve dans le terrain houiller inférieur du Yorkshire, où son épaisseur ne dépasse pas 2 centimètres. On y trouve vingt-sept genres de poissons, parmi lesquels Ctenacanthus, Acanthodes, Megalichthys, Holoptychius, Palæoniscus, Ctenodus, etc.

Saint-Étienne. — M. Maussier (2) a reconnu que la brèche dite du mont Crépon contient, avec du gneiss, du granite et du micaschiste, de nombreux blocs ou galets du grès anthracifère du Roannais. Cette brèche peut donc être considérée comme formant la limite entre le terrain anthracifère du Roannais, d'une part, équivalent du terrain houiller d'Anzin et de Mons, et le terrain houiller de Saint-Étienne et Rive-de-Gier, d'autre part.

La brèche du mont Crépon plongeant sous le tertiaire de la plaine du Forez, M. Maussier pense que ce tertiaire peut recouvrir une partie du terrain carbonifère de la Loire.

Savoie, Suisse. — M. Heer (3) a décrit les végétaux fossiles recueillis dans le terrain houiller à Vernayaz, Salvan, Servoz, Petit-Cœur, etc. L'ensemble des espèces rattache le terrain anthracifère des Alpes à la partie supérieure du terrain houiller d'Angleterre (zone des fougères et des annulariées). La flore de la Savoie est plus ancienne que la flore suisse, et correspond à la zone des sigillaires et des calamites.

Hainaut. — M. Briart (4) a reconnu, avec M. Cornet, dans le bassin houiller du Hainaut, l'existence d'une sorte d'arkose avec grains de phthanite, analogue à la roche de même composition qui existe à la base du terrain houiller de Liége. Cette roche représenterait, comme l'a déjà indiqué M. Dewalque, le millstone-grit d'Angleterre. Le terrain houiller inférieur se composerait alors, en Belgique, de deux étages; le premier, à la base, comprenant les phthanites, les ampélites et les schistes alunifères, le second renfermant les schistes houillers terminés en haut par l'arkose.

Les empreintes d'insectes fossiles sont fort rares dans le terrain houiller belge. En 1867, MM. Van Beneden et Coemans y

(1) *Geol. Society*. 7 juin 1876.
(2) *Notice sur la brèche du mont Crépon*.
(3) *Flora fossilis Helvetiæ*. — *Revue géol. suisse*, VI.
(4) *Soc. géol. de Belgique*, III, 84.

avaient trouvé un orthoptère, Omalia macroptera. Depuis, le bassin de Mons a fourni trois espèces nouvelles, que M. Preudhomme de Borre (1) a décrites sous les noms de Pachytylopsis Persenairei, Breyeria Borinensis et Termes Haidingeri.

Liége. — M. Malherbe (2) a signalé de nouveaux gisements de cardinies dans le terrain houiller de Liége; actuellement, le nombre des lits coquilliers distincts, reconnus dans l'étage houiller de la province, s'élève à treize.

Limbourg. — Un nouveau bassin houiller a été découvert dans le Limbourg hollandais. La largeur de ce bassin, d'après M. Lambert (3), serait d'au moins 10 kilomètres. L'auteur pense que ce bassin établit une jonction entre le bassin belge et celui de la Ruhr, dont le prolongement a déjà été constaté à Homberg et même à Crefeld, et que M. Lambert est disposé à considérer comme se reliant d'une manière continue aux bassins houillers de l'Écosse.

Ostrau. — Des fossiles marins ont été signalés par M. Stur (4) à plusieurs niveaux dans la formation houillère d'Ostrau. Les principales espèces sont Phillipsia mucronata, Orthoceras undatum, Goniatites diadema, Spirifer glaber, Productus Flemingi, P. pustulosus, Rhynchonella pleurodon, Anthracomya.

Moravie, Silésie. — M. Stur (5) distingue trois zones dans le carbonifère inférieur ou *Culm* de la Moravie et de la Silésie autrichienne.

La zone inférieure repose immédiatement sur le dévonien, et a de 6.000 à 7.000 mètres d'épaisseur : elle comprend des grès, des schistes et des conglomérats jaunes à grain fin, donnant de bonnes pierres de taille. On y observe les Goniatites prior, Posidonomya Becheri, Lepidodendron Weltheimianum, Stigmaria inæqualis.

La zone moyenne, puissante de 3.500 à 4.500 mètres, renferme les mêmes roches que la précédente; mais les schistes y sont plus finement feuilletés : cette zone est de beaucoup la plus riche en fossiles. Elle contient, entre autres, les Phillipsia latispinosa, Goniatites Machaneki, G. sphæricus, Gomphoceras scalariforme, Orthoceras scalare, O. striolatum, Posidonomya Becheri, Pecten

(1) *Ann. Soc. entomol. de Belgique*, XVIII.
(2) *Soc. géol. de Belgique*, 20 févr. 1876.
(3) *Geol. Mag.*, 1876. 412.
(4) *Verhandl. d. K. K. g. R.*, 1875.
(5) *Abhandlungen der K. K. g. Reichsanstalt*, VIII. — Vienne, 1875.

subspinulosus, et de très-nombreux végétaux des genres Sphenopteris, Rhodea, Archæopteris, Rhacopteris, Stigmaria, Lepidodendron, Rhabdocarpus, etc.

Enfin la zone supérieure, épaisse de 4.500 mètres, a pour caractéristique un schiste laminé à grain fin : on y a recueilli moins de fossiles que dans les précédentes, et ce sont surtout des végétaux.

La deuxième zone a beaucoup d'espèces communes avec le *Culm* de Rothwaltersdorf, dans la Silésie prussienne, où l'on a trouvé le Productus giganteus.

Russie. — Le calcaire carbonifère de Mjatschkowa, près de Moscou, a été étudié par M. Trautschold (1). Ce dépôt, puissant de 20 mètres, contient les mêmes fossiles que le terrain houiller de l'Illinois; par exemple Cladodus lamnoïdes, Ostinaspis acuta; les poissons y sont représentés par treize genres.

Ce calcaire a été également l'objet d'un travail de M. de Koninck (2).

Sumatra. — M. Verbeek (3) a observé à Padang, dans l'île de Sumatra, la formation carbonifère représentée par le Productus semireticulatus, des Fusulines, des Phillipsia et beaucoup d'autres fossiles du même étage. Les Goniatites sont rares et les Posidonies font jusqu'à présent défaut.

Ces fossiles de Padang ont été examinés par M. Roemer (4), qui a été frappé de la grande similitude du calcaire carbonifère de cette contrée avec celui d'Europe, notamment du bassin de la Meuse. Du reste, il paraît que le même calcaire se retrouve au Japon, où M. Guembel a reconnu une fusuline dans des calcaires marmoréens.

D'après M. Brady (5), les fusulines de Padang, qui atteignent jusqu'à 11 millimètres de longeur et 10 millimètres de largeur, appartiennent à l'espèce Fusulina princeps, la même qui se rencontre dans le calcaire carbonifère d'Archangel.

Colorado. — D'après M. White (6), la formation carbonifère mesure 1.300 mètres d'épaisseur dans la région du grand plateau,

---

(1) *Neues Jahrb.*, 1875, 773.
(2) *Soc. imp. des Natur. de Moscou.*
(3) *Neues Jahrb.*, 1876, 415.
(4) *Neues Jahrb.*, 1876, 527.
(5) *Géol. Mag.*, 1875, 537.
(6) *Neues Jahrb*, 1876, 686.

près du Colorado. On y rencontre les Productus punctatus, P. semireticulatus, Spirigera subtilita, Spirifer cameratus, Bellerophon carbonarius, etc., ainsi que des espèces nouvelles d'Amplexus et d'Archæocidaris.

INDIANA. — M. Lesquereux (1) a découvert trois espèces d'algues marines dans la formation carbonifère de l'Indiana ; ces espèces, appartenant au genre silurien Palæophycus, proviennent des concrétions ferrugineuses contenues dans un lit d'argile supérieure à la houille de Salt Creek : un grès houiller de l'Indiana a également fourni les nouveaux genres Asterophycus et Conostichus.

LAC TITICACA. — MM. A. Agassiz et Garman (2) ont reconnu la formation carbonifère aux environs du lac Titicaca ; sur neuf espèces fossiles, huit présentent des formes déja connues au Brésil et aux États-Unis. Du reste, M. Orton a également observé le carbonifère aux sources de l'Amazone, et M. Raimondi l'a suivi jusqu'à plus de 3.000 mètres d'altitude, sur l'Apurimac, près de la vallée de Cuzco.

Limite entre le terrain houiller et le terrain permien.

ANGLETERRE. — En examinant diverses coupes recueillies dans le Shropshire et le Denbigshire, M. Davies (3) a été conduit à penser que, depuis le calcaire à spirorbes jusqu'au permien inclusivement, il n'y a qu'une série continue de dépôts, où les discordances observées n'ont jamais qu'un caractère local.

PILSEN. — Contrairement à l'opinion de M. Feistmantel, qui place la houille à gaz de Pilsen dans le permien inférieur, M. Helmhacker (4) la rattache, comme l'avait fait M. Geinitz, au terrain houiller. Cependant la faune de cette assise, ainsi que celle de la houille à gaz du bassin de Rakonitz, a été étudiée par M. A. Fritsch (5). L'auteur y a trouvé 28 espèces d'animaux, dont quelques-uns, Palæoniscus, Xenacanthus, Acanthodes et Gampsonychus, sembleraient indiquer l'époque permienne.

Il est donc bien probable que la formation en question appartient à la zone de passage qui relie le permien au terrain houiller.

---

(1) *Indiana geol. Survey.*, 1875.
(2) *Americ. Journ.* [3]. XI. 492.
(3) *Geol. Society*, 21 juin 1876.
(4) *Berg. und Hüttenm. Zeit.*, XXIII, 1.
(5) *Neues Jahrb.*, 1876. 104.

WAHSATCH. — D'après M. Clarence King (1), la formation houillère dans les monts Wahsatch est recouverte en concordance apparente par une série de schistes argileux et calcaires avec couches de grès et de calcaire, dont les fossiles sont rapportés par MM. Meek, Hall et Whitfield au permo-carbonifère. Cette série, dont la puissance ne dépasse pas 150 mètres, contient six espèces d'Aviculopecten, trois espèces de Myacites et un Schizodus.

ÉTATS-UNIS. — M. Peale (2) a observé, sur les bords de la rivière de l'Aigle, des couches de grès et de calcaires diversement colorés, gypsifères à leur partie supérieure, et contenant ensemble les Calamites Suckowi, C. gigas, Stigmaria ficoïdes. A la base, on trouve les genres Productus et Spirifer, et l'on observe le passage au carbonifère de cette formation que M. Peale range dans le *permo-carbonifère*.

TERRAIN PERMIEN.

Reptiles permiens.

M. Owen (3) a étudié les ossements d'un curieux reptile carnivore, Cynodrakon major, trouvé dans des blocs de rocher provenant de l'Afrique australe et appartenant à la série dite de Karoo. Ce reptile n'est pas seul de son espèce et les dépôts lacustres de la même région renferment les restes de reptiles qui tous offrent certains caractères des mammifères. M. Owen propose d'en former un ordre nouveau, celui des Theriodontes, ayant la dentition des carnivores. Il fait remarquer que les caractères reptiliens de ce groupe perdu n'appartiennent aujourd'hui qu'à des quadrupèdes ayant un système cérébral circulatoire, respiratoire ou tégumentaire plus élevé et, dans son opinion, ce fait s'explique aussi peu par l'hypothèse de Darwin que par celle de Lamarck.

Les thériodontes n'existent pas seulement dans l'Afrique australe. M. Owen (4) y rapporte le Brithopus priscus des dépôts permiens de l'Oural et le Bathygnathus borealis du grès rouge de l'île du Prince-Édouard. Ainsi, à l'époque permienne, les reptiles offrant certains caractères de mammifères avaient une distribution géographique très-étendue.

(1) *Americ. Journ.* [3], XI, 481.
(2) *Geol. Survey of territories*, 1876.
(3) *Geol. Society*, 2 fév. 1876.
(4) *Geol. Society*, 21 mai 1876.

TERRAINS MÉSOZOÏQUES.

TERRAIN TRIASIQUE.

TYROL. — M. Pichler (1) regarde comme démontrée l'intercalation du calcaire dolomitique du Wetterstein au milieu de deux systèmes de couches à Cardita; le système inférieur a dû se déposer dans une mer peu profonde, comme l'attestent les marnes, les grès et les oolithes dont il est formé, ainsi que la présence des végétaux Equisetites, Pterophyllum, Pecopteris. Un affaissement survenu a permis le dépôt des calcaires dolomitiques à Chemnitzia, puis un relèvement a fait reparaître les formations littorales; mais ces mouvements ne se sont pas fait sentir partout et il y a des points où le calcaire à Chemnitzia fait défaut et où les couches à Cardita ont dû continuer à se déposer sans interruption, car c'est sur ces points que leur épaisseur est le plus grande.

NOUVELLE-CALÉDONIE. — M. Heurteau (2) a donné quelques détails sur les couches triasiques de la Nouvelle-Calédonie, déjà indiquées par M. J. Garnier. Elles se trouvent sur les îles Ducos et Hugon et se divisent nettement en deux étages; un étage supérieur, composé de schistes calcaires bruns et ferrugineux, avec Monotis Richmondiana, Turbo Jouanni, Astarte, Spirigera, etc., et un étage inférieur, métamorphique, contenant Mytilus problematicus et Spirigera Wreyi. Ces dernières couches contiennent, à Ourail, beaucoup de bois fossile imprégné de pyrite.

Étage rhétien.

ANGLETERRE. — M. Harrison (3) a observé une coupe de l'étage rhétien, près de Leicester. Au-dessus de la marne rouge triasique et en concordance avec elle, viennent d'abord 5 mètres de marne sableuse de couleur claire, avec cristaux de gypse, pseudomorphoses de sel et de nombreuses écailles de poissons. On n'y a trouvé qu'une seule aile d'insecte. Au-dessus vient le bone-bed,

(1) *Neues Jahrb.*, 1875, 926.
(2) *Annales des mines* (7), IX, 407.
(3) *Geol. Society* 8, mars 1876,

épais de 5 à 6 centimètres, rempli d'os, de dents et d'écailles. Puis viennent des schistes noirs, de 1m,20 avec Cardium rhæticum, Avicula contorta, et 1m,50 de schistes un peu sableux avec l'Ostrea liassica associée aux deux fossiles précédents. La série se termine par une couche mince de calcaire noduleux, et dans le drift qui le recouvre on trouve des blocs de calcaire avec Monotis decussata et Anoplophora musculoïdes.

HILDESHEIM. — MM. K. Martin et Wright (1) ont décrit quelques fossiles nouveaux du bone-bed des environs d'Hildesheim. Ce sont des poissons, Pholidophorus Roemeri, Hybodus furcatostriatus, Nemacanthus monilifer et une Ophiura décrite comme Ophiolepis Damesi.

TERRAIN JURASSIQUE.

TERRAIN JURASSIQUE INFÉRIEUR.

ALSACE. — M. Lepsius (2) a décrit la formation jurassique inférieure de la Basse-Alsace, depuis la zone à Avicula contorta jusqu'au grès à Ammonites Murchisonæ. Dans son travail, accompagné d'une carte et de plusieurs profils, et comprenant en outre la description d'un certain nombre d'espèces nouvelles, l'auteur distingue les horizons suivants :

Lias inférieur, Lias moyen avec marnes à Terebratula numismalis, couches à Pentacrinus basaltiformis, calcaire à Amm. Davœi, zone à Amm. margaritatus, calcaire à Amm. costatus; Lias supérieur avec schistes à Posidonies, marnes à A. jurensis; Jura brun avec zone à Amm. torulosus, zone à Trigonia navis, zone à Amm. Murchisonæ, à A. Sowerbyi, à A. Sauzei, à A. Humphriesi, enfin grande oolithe et cornbrash.

SUISSE. — M. Kaufmann (3) a découvert à Hütlern, dans l'Unterwald, un riche gisement de fossiles du lias inférieur et moyen. On y trouve Belemnites acutus, B. paxillosus, Ammonites margaritatus, A. insignis, Lima gigantea, Terebratula numismalis, Spiriferina Walcotti.

---

(1) *Zeit. d. d. g. G.*, XXVI, 816.
(2) *Neues Jahrb.*, 1875, 969.
(3) *Revue géolog. suisse*, VI.

TERRAIN JURASSIQUE SUPÉRIEUR.

ANGLETERRE. — D'après M. J. F. Blake (1), la formation kimméridienne en Angleterre se divise en deux étages; l'étage supérieur est le virgulien du continent; le ptérocérien paraît ne pas exister dans la Grande-Bretagne. L'étage inférieur, formé d'argiles bleues ou sableuses à stratification indistincte, avec de nombreuses concrétions calcaires, a son type dans le Lincolnshire. Il est séparé du corallien par des couches de passage.

WEALD. — M. H. Woodward (2) a découvert, dans un échantillon d'argile kimméridienne rapporté par la sonde du forage sub-wealdien, une espèce de crustacé qu'il a nommé Callianassa isochela; jusqu'à présent le genre Callianassa n'avait pas été rencontré au-dessous du grès vert.

HAUTE-MARNE. — D'après M. Tombeck (3), la marne sans fossiles qui occupe, en certains points de la Haute-Marne, la base du corallien et repose sur l'argovien typique, est synchronique d'une marne fossilifère qu'on observe à Mussy (Aube). Cette marne, supportant le corallien à Ammonites Marantianus et A. Achilles, renferme les Waldheimia humeralis et Terebratula subsella. Ainsi, sur certains points, les fossiles séquaniens descendraient jusqu'à l'argovien.

Quant à ce dernier étage, MM. Tombeck et Royer y ont reconnu, aux environs de Saint-Ansiau, une couche à oursins coralliens, Stomechinus lineatus, Cidaris florigemma, Glypticus hieroglyphicus, etc., intercalée entre deux couches franchement argoviennes à Ammonites Martelli et A. biarmatus.

CÔTE-D'OR. — M. Jules Martin (4) a étudié le groupe des étages virgulien et portlandien dans les tranchées de Flacey (Côte-d'Or.)

Zone à Ammonites biplex	8	mètres.
— à Trigonia Pellati	3	—
— à Amm. caletanus	14	—
— à Ostrea virgula	45	—
— à Ptérocères	8	—
	78	—

(1) *Geol. Society*, XXXI, 196.
(2) *Geol. Society*, 3 nov. 1875.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3] IV, 162.
(4) *Mém. Acad. des sc., arts et belles-lettres de Dijon*. 1876.

Tout cet ensemble forme, pour M. J. Martin, l'étage kimméridien. Les zones à Trigonia Pellati et Amm. biplex ne représentent que le portlandien inférieur du Boulonnais et du Bray, lequel n'a pas d'équivalent en Angleterre. M. Martin pense que c'est à tort qu'on les désigne sous le nom de portlandiennes. Tout au plus formeraient-elles une assise de passage entre le kimméridien et le portlandien.

JURA OCCIDENTAL. — M. Choffat (1) a trouvé, dans le Jura occidental, des gisements où les espèces des couches argoviennes à Ammonites acanthicus et A. tenuilobatus sont mélangées, comme à Oberbuchsiten (2), aux fossiles caractéristiques de l'astartien bernois. L'auteur est d'avis que le corallien de Valfin représente l'étage ptérocérien et il classe ainsi qu'il suit les couches jurassiques des environs de Saint-Claude :

Portlandien,
Corallien de Valfin, ou ptérocérien de Champagnole,
Astartien,
Corallien proprement dit,
Couches à Hemicidaris crenularis et à spongiaires,
Argovien à Pholadomyes,
Argovien à Waldheimia impressa,
Argovien à Ammonites transversarius et à spongiaires.

Tandis qu'à Champagnole le ptérocérien est complet et divisible en trois zones, aux Crozets la zone inférieure est devenue corallienne et à Saint-Claude le récif de Valfin équivaut aux trois zones réunies.

M. de Tribolet (3) admet la classification suivante pour le terrain jurassique supérieur :

11. Purbeckien avec les dolomies portlandiennes.	Zone de la Cyrena rugosa.
10. Portlandien.	Zone des Ammonites gigas et Cyprina Brongniarti.
9. Virgulien.	Zone de l'Ammonites caletanus.
8. Ptérocérien.	Zone de l'Amm. orthoceras.
7. Séquanien supérieur.	Calcaire à astartes et oolithe de la Mothe.
6. Séquanien inférieur.	Corallien compacte.
5. Rauracien supérieur.	Oolithe de Doulaincourt.
4. Rauracien inférieur.	Calcaire grumeleux corallien.
3. Pholadomyen.	Zone du Belemnites Royeri.
2. Zone des calc. hydrauliques. .	Zone de l'Amm. Babeanus.
1. Spongitien.	Zone de l'Amm. Martelli.

(1) *Bull. Soc. géol.* (3), III, 764.
(2) *Revue de géologie.* X, 129.
(3) *Bull. Soc. géol.* (3), IV, 285.

Les divisions 1, 2 et 3 correspondent à l'argovien. M. de Tribolet admet que l'étage pholadomyen offre une faune de passage nettement accentuée et que si l'on faisait abstraction des considérations pétrographiques et stratigraphiques, ce sous-étage serait plus convenablement rattaché au rauracien et même au séquanien qu'à l'argovien.

CRUSSOL. — M. Fontannes (1) a étudié les ammonites de la zone à Ammonites tenuilobatus de Crussol, près Valence. L'auteur fait ressortir que les formes de ce niveau offrent très-peu d'analogies avec celles de la zone à Amm. transversarius ou oxfordien typique, tandis que plusieurs sont étroitement liées à certains types du kimméridien inférieur; aussi M. Fontannes est-il disposé à admettre que la zone à Amm. tenuilobatus ou les formations synchroniques du bassin méditerranéen caractérisées par l'Amm. acanthicus, représentent, comme on l'a souvent indiqué, un facies du corallien supérieur ou du kimméridien inférieur.

PROVENCE, LANGUEDOC. — M. Coquand (2) a développé les raisons qui lui font classer au niveau de l'astartien les calcaires à Terebratula Repellini de la Basse-Provence et du Languedoc. Ces calcaires formeraient, avec ceux qui contiennent le Cidaris glandifera, un tout indivisible, et les couches à Terebratula janitor seraient incontestablement jurassiques.

VOIRONS. — M. Ernest Favre (3) a constaté qu'à la montagne des Voirons (Savoie) la Terebratula janitor existe dans des calcaires à Aptychus et Ammonites où l'ensemble de la faune, franchement jurassique, appartient aux zones à Ammonites acanthicus et A. bimammatus.

M. E. Favre admet que, dans les Alpes occidentales suisses, le dépot des terrains jurassiques supérieurs a été continu jusqu'au crétacé et que les faunes s'y sont progressivement modifiées en offrant partout des facies de transition.

LÉMENC. — M. Pillet (4) a donné la coupe de la colline du Lémenc, près de Chambéry. Au-dessus de la zone à Ammonites tenuilobatus, on observe des assises à Aptychus avec Belemnites semi-sulcatus, Ammonites lithographicus, A. Steraspis, A. Calisto,

---

(1) *Mém. de l'Acad. de Lyon.* XXI. 1875-1876.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3]. III. 670.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3]. III. 690.
(4) *Bull. Soc géol.* [3]. III. 687.

Terebratula diphya; l'ensemble de la faune est incontestablement jurassique et correspond aux couches de Solenhofen et au *Klippenkalk* des Carpathes. Puis vient un calcaire lithographique avec stations coralligènes contenant encore une faune jurassique à Terebratula janitor, C. moravica, Cidaris coronata, Hemicidaris crenularis et Cidaris glandifera, que couronnent les marnes de Berrias, synchroniques du Purbeckien, d'après M. Pillet.

Ainsi les térébratules perforées, loin d'être caractéristiques du terrain crétacé, se trouvent en Savoie, en plein étage jurassique.

Jura, Souabe. — M. M. de Tribolet (1) a donné un tableau synchronique des divers étages jurassiques supérieurs, entre le Jura et la Souabe. L'auteur développe les raisons qui lui font considérer la superposition de l'astartien ou zone de l'Ammonites tenuilobatus au corallien comme un fait acquis à la science. Avec MM. Bayan, Neumayr, etc., il regarde les dépôts coralligènes à Diceras Luci et Nerinea Mandelslohi comme appartenant à l'astartien.

Hanovre. — D'après M. Struckmann (2), la série tout entière du terrain jurassique supérieur, depuis l'oxfordien inclusivement jusqu'au sommet du portlandien, n'a pas plus de 46 mètres d'épaisseur: pourtant tout les niveaux y sont représentés. Un fait assez remarquable est l'association de l'Ostrea virgula à la Terebratula humeralis et à la Rhynchonella pinguis dans l'oolithe corallienne qui sépare l'oxfordien du kimméridien.

Russie. — D'après M. Trautschold (3), la limite entre le terrain jurassique et le terrain crétacé, en Russie, doit être placée entre l'argile à inocérames et le calcaire à Aucella, ou plus exactement, pour Simbirsk, entre les couches à Aucella et l'argile à Astarte porrecta. A Moscou, où l'argile à inocérames n'existe pas, la limite doit passer entre les bancs à Aucella, qui seraient du portlandien, et les sables. vert-olive clair, à Ammonites fulgens, qui appartiendraient au néocomien.

TERRAIN CRÉTACÉ.

TERRAIN CRÉTACÉ INFÉRIEUR.

Blackdown. — M. Ch. Barrois (4) a étudié les couches de

(1) *Société d'émulation du Doubs*, 20 mars 1875.
(2) *Zeit. d. d. g. G.*, XXVII, 1. — *Revue de géologie*. XIII, 118.
(3) *Bull. de la Soc. des natur.* Moscou, 1875.
(4) *Soc. géol. du Nord*. III, 1.

Blackdown dans le Devonshire ; ces couches, dont la faune a été comparée tantôt à celle du *lower green sand*, tantôt à celle du gault ou de l'*upper green sand*, n'offrent, à Blackdown, aucune relation stratigraphique nette avec d'autres assises. Mais, dans l'île de Wight et dans le Wiltshire, M. Barrois a reconnu que le grès vert supérieur se divise en deux assises, dont l'une, celle du haut, contient la faune cénomanienne, tandis que celle du bas, sur 66 espèces fossiles, contient 36 formes caractéristiques de Blackdown. Le tout repose sur le gault. Les couches de Blackdown seraient donc à la base du grès vert supérieur ou tourtia.

Nous rappellerons que la *meule* des environs de Mons, qui occupe le même niveau, contient beaucoup d'espèces de Blackdown; cet horizon est celui de la gaize de l'Argonne et du pays de Bray.

FOLKESTONE. — M. Ch. Barrois (1) a comparé la faune des *Folkestone-beds*, ou couches supérieures du grès vert inférieur d'Angleterre, avec les faunes crétacées de France; non-seulement les assises les plus élevées des *Folkestone-beds* correspondent certainement au gault inférieur français, mais le reste de la série offre, par ses fossiles, une analogie étroite avec la faune de la zone à Ammonites mammillaris.

POTTON, WICKEN. — M. Teall (2) a étudié les dépôts à nodules phosphatés de Potton et de Wicken; il les considère comme appartenant à la partie tout à fait supérieure du néocomien, c'est-à-dire à l'aptien, et indique que leur représentation doit être cherchée dans les *Folkestone-beds*. La série néocomienne est très-atténuée dans cette région, tandis que dans le Norfolk elle se compose de sables meubles à la base, d'argiles avec nodules ferrugineux au milieu; enfin, au sommet, d'un grès ferrugineux dit *carstone*, recouvert par la craie rouge. Il est donc possible qu'il y ait eu, à Potton, dénudation d'un dépôt néocomien plus ancien, dont le conglomérat phosphaté contiendrait quelques éléments.

SUD-EST DE LA FRANCE. — M. Toucas (3) distingue les assises suivantes dans le néocomien du sud-est de la France :

1er sous-étage.
1. Marnes à Belemnites semicanaliculatus.
2. Calcaires marneux à Ancyloceras Matheroni et Amm. fissicostatus.

(1) *Soc. géol. du Nord*. III, 23.
(2) *Cambridge*. 1875. — *Geol. Mag*., 1876. 41.
(3) *Bull. Soc. géol*. [3]. IV, 310.

2e sous-étage.	1. Calcaires à Toucasia (Requienia) Lonsdalei. 2. Calcaire à silex.
3e —	1. Calcaires marneux à Echinospatangus Ricordeanus. 2. Calcaires marneux à Echinospatangus cordiformis. 3. Calcaires à Bélemnites plates.

Perte du Rhône. — M. Renevier (1) a donné une coupe détaillée des terrains de la Perte du Rhône.

Au-dessous du gault, divisé en gault supérieur (gaize) à Ammonites inflatus et à nodules phosphatés et gault inférieur à Amm. mammillaris, l'auteur distingue l'aptien à Ostrea aquila, Epiaster polygonus, etc., épais de 6 mètres, le rhodanien à Orbitolites lenticulata, Pterocères et Heteraster oblongus, puissant de 17 mètres, enfin 12 mètres d'urgonien à Requienia ammonia.

TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

Europe. — M. Hébert (2) a donné une classification détaillée du terrain crétacé supérieur en Europe. L'auteur distingue les étages suivants :

Danien. — Supérieur : calcaire pisolithique, calcaire de Faxoe, tufau de Maestricht. — Inférieur : calcaire à baculites de Valognes; craie grise de Ciply.

Sénonien.—Supérieur : assise supérieure; zone à Bel. mucronata, calcaire à Micraster Tercensis; assise inférieure: zone à Bel. quadrata, argiles et grès à Cyrena garumnica. — Moyen : assise supérieure; craie à Micraster coranguinum, calcaires à Hemipneustes d'Ausseing ; assise inférieure : craie à Micr. cortestudinarium, lignites du Beausset et du Plan d'Aups. — Inférieur : craie à Holäster planus, craie de Villedieu à Micraster brevis.

Turonien. — Supérieur (calcaire à Hippurites), manquant dans le bassin de Paris. — Inférieur ou craie de Touraine et zone à Inoceramus labiatus.

Cénomanien. — Supérieur ou grès du Maine, manquant, selon M. Hébert, dans le bassin de Paris.— Inférieur ou craie de Rouen, formant trois zones, la zone supérieure à Turrilites costatus, la zone moyenne à Turrilites tuberculatus, et la zone inférieure ou gaize à Ammonites inflatus.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 704.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 595.

ILES BRITANNIQUES. — M. Ch. Barrois (1) a publié un mémoire sur le terrain crétacé supérieur des Iles Britanniques. L'auteur y a partout suivi les horizons déjà reconnus dans le massif crayeux du bassin de Paris, et qui sont, de haut en bas :

I. *Sénonien*. .	Assise à bélemnites (craie de Portsdown et de Norwich). Assise à Marsupites (craie de Brighton et de Margate). A. à micraster : 1° M. Coranguinum (craie de Broadstairs, chloritic chalk d'Irlande). — 2° M. Cortestudinarium (craie de Stockbridge et de Douvres).
I. *Turonien*. .	Zone à Holaster planus (chalk-rock). Zone à Terebratulina gracilis (craie sans silex de Douvres, sables et grès chlorités d'Irlande). Zone à Inoceramus labiatus (craie congloméree de Shakespeare Cliff).
III. *Cénomanien*	Zone à Belemnites plenus. Zone à Holaster subglobosus (grey chalk). Marne glauconieuse (chloritic marl ; marnes grises et grès jaunes d'Irlande). Zone à Pecten asper (sable vert de Warminster, glauconie de Folkestone). Zone à Amm. inflatus (couches de Blackdown et gaize de Devizes).

M. Barrois fait remarquer qu'à l'époque où la craie à Marsupites se déposait dans le sud de l'Angleterre, il se formait en Irlande un dépôt littoral épais seulement de 4 à 5 mètres. Il pense donc que la mer crétacée en Angleterre ne devait pas dépasser beaucoup les affleurements jurassiques des Cotswolds, et qu'elle pénétrait dans un continent déjà émergé sous la forme de golfes comparables au golfe de Gascogne.

UCHAUX. — M. Hébert (2) a fait une étude spéciale du bassin crétacé d'Uchaux. On y distingue les horizons suivants :

3° groupe. Grès et calcaires à rudistes.	Couche supérieure.	Calcaires à Hippurites cornuvaccinum.
	Couche inférieure.	Grès de Mornas.
2° groupe. Grès d'Uchaux.	Couche supérieure.	Grès à Amm. Requieni.
	Couche moyenne.	Grès à Amm. papalis.
	Couche inférieure.	Grès à Epiaster.
1er groupe. Grès de Clansayes et de Mondragon.	Couche supérieure.	Grès à lignites.
	Couche inférieure.	Grès à Turrilites Bergeri et Amm. rotomagensis.

Plusieurs espèces nouvelles, provenant de ces différents horizons, ont été décrites par M. Munier-Chalmas.

(1) *Thèse présentée à la Faculté des sciences*. — Lille. 1876.
(2) *Ann. des sciences géologiques*, VI. 1875.

PROVENCE. — M. Coquand (1) a signalé deux gisements de craie blanche d'origine marine, avec Ostrea vesicularis et Ananchytes, dans la Provence; l'un de ces gisements se trouve à Sentis, dans les Basses-Alpes; l'autre est à Beynes, près de Digne. Tous deux représenteraient la craie de Meudon et seraient encore inférieurs aux couches lacustres à Lychnus.

— M. Toucas (2) a donné la classification suivante pour le terrain crétacé supérieur du sud-est de la France :

Sénonien. . .	1er sous-étage.	Manque.
	2e —	1° Calcaires lacustres à lignites. 2° Calcaires marneux de Villedieu.
Turonien. . .	1er —	Calcaires à Hippurites cornuvaccinum.
	2e —	1° Marnes et grès à Ostrea proboscidea. 2° Calc. à Micraster Matheroni.
	3e —	1° Calc. à Radiolites cornupastoris. 2° Zone de la craie de Touraine. 3° Zone des Inoceramus labiatus, Ammonites nodosoïdes et Hemiaster Verneuili.
Cénomanien.	1er —	1° Calc. à Caprina adversa. 2° Zone à Heterodiadema Lybicum. 3° Calc. inférieur à Caprina adversa.
	2e —	1° Zone à Anorthopygus orbicularis. 2° Zone à faune rotomagienne.

M. Toucas range dans le deuxième sous-étage sénonien les lignites de la Cadière, du Plan d'Aups, de Fuveau et de Piolenc.

SAXE. — A la suite de ses études sur la vallée de l'Elbe, en Saxe, études qui comprennent la description de plus de huit cents espèces, M. B. Geinitz (3) a été amené à préciser les rapports des formations crétacées de la Saxe avec celles de l'Europe occidentale.

Le quadersandstein inférieur et la base du plæner correspondent au cénomanien; les deux étages moyens des mêmes groupes sont le turonien inférieur; le turonien supérieur est représenté par le sable vert de Cotta et le plænerkalk, tandis que le quadersandstein supérieur et les marnes à baculites de Copitz équivalent au sénonien inférieur à Bellemnitella quadrata, bien que ce fossile n'ait pas encore été trouvé à l'est du Hartz.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 599.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 309.
(3) *Das Elbthalgebirge in Sachsen.* — Cassel, 1871-1875.

Limite entre le terrain crétacé et le terrain tertiaire.

CATALOGNE. — M. Vidal (1) a confirmé, par ses études entreprises pour l'exécution de la carte géologique de la Catalogne, les vues émises par M. Leymerie (2) sur le développement du terrain *garumnien* dans cette région. L'auteur distingue un étage supérieur de 100 mètres, formé d'argiles marneuses gypsifères avec calcaire et grès, un étage moyen de calcaires rougeâtres et de marnes bigarrées; enfin un étage inférieur de 20 à 40 mètres, lignitifère, avec Lychnus, Cyclostoma, Melania armata, Cyrena, Natica, Cerithium, etc., et un banc d'hippurites enclavé.

Cet ensemble repose sur le sénonien supérieur à Hemipneustes. Ainsi se trouve confirmée l'attribution des calcaires à Lychnus au terrain crétacé supérieur.

NOUVELLE-ZÉLANDE.— M. Hector (3) a étudié, dans la Nouvelle-Zélande, un ensemble de couches qu'il nomme série d'Ototara et qui est remarquable par le mélange de formes crétacées et de formes tertiaires qu'il contient. On y observe des types incontestablement crétacés, tels que des sauriens et des inocérames, et, en plus, le Nautilus zic-zac. M. H. Woodward y a reconnu un crustacé du genre Harpactocarcinus, connu par six espèces appartenant à l'éocène de l'Europe méridionale.

AMÉRIQUE DU NORD. — La question de l'âge des lignites de l'ouest (4) continue à être discutée parmi les géologues américains. M. Lesquereux (5) admet que toute cette formation appartient à l'époque tertiaire. Il la divise en un étage inférieur éocène, avec palmiers et autres espèces indiquant un climat chaud et humide; un étage représentant l'éocène supérieur ou le miocène inférieur; un troisième groupe miocène moyen; enfin un groupe miocène supérieur.

M. Hayden regarde le groupe lignitifère inférieur comme appartenant à la formation crétacée marine; au-dessus viendrait un groupe lignitifère moyen, saumâtre, représentant le tertiaire inférieur ou une assise de passage; enfin le terrain lignitifère supérieur, d'eau douce, serait incontestablement tertiaire.

---

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 548.
(2) *Revue de géologie*. VI. 186, VIII. 116.
(3) *Geol. Society*. 3 nov. 1875.
(4) *Revue de géologie*. XIII. 130.
(5) *Geol. Survey of the Territories*. 1876.

En somme, la principale divergence entre MM. Lesquereux et Hayden consiste en ce que le premier range dans l'éocène tout le groupe inférieur et même les couches de l'île Vancouver, qui supportent des assises renfermant des ammonites et des baculites, tandis que M. Hayden admet l'existence de lignites intercalés dans un terrain marin d'âge crétacé. Cette dernière opinion est partagée par MM. Leidy, Cope et Marsh, en raison des dinosauriens et autres fossiles crétacés de ces couches. Telle est aussi la manière de voir de M. Dana (1), qui attribue aux reptiles une importance beaucoup plus grande que celle des végétaux pour déterminer l'âge d'un terrain.

TERRAINS NÉOZOÏQUES.

TERRAIN TERTIAIRE.

Étage éocène.

BRUXELLES. — MM. Vincent, Rutot et Vanden Broeck (2) ont étudié la succession des dépôts éocènes dans les environs de Bruxelles. Le sable yprésien, qui forme généralement le fond des vallées, présente quatre zones : en bas, celle des sables à bandes argileuses, ensuite celle des grès fossilifères; puis l'horizon du Nummulites planulata ; enfin celui des turritelles. Au-dessus vient le panisélien, assez irrégulièrement déposé, puis le sable à grès lustrés du bruxellien inférieur, le sable calcareux ou bruxellien supérieur, ces deux assises ayant d'ailleurs la même faune. Le lækenien inférieur ou couche à Ditrupa vient au-dessus et est surmonté par les sables lækeniens supérieurs, et enfin par l'argile glauconifère que recouvrent par places les sables chamois.

La vallée de la Senne coule dans une faille. Sur la rive gauche, le bruxellien n'existe pas et est remplacé par le panisélien qui, au contraire, est rudimentaire sur la rive droite.

MONS. — MM. Briart et Cornet (3) ont continué la description détaillée des fossiles recueillis dans le calcaire grossier de

(1) *Americ. Journ.* (3), XI, 149.
(2) *Soc. géol. du Nord*, III, 174.
(3) *Bull. Acad. royale de Belgique* (2), XXXV, 163.

Mons. Onze des gastéropodes de ce calcaire leur ont paru identiques avec des espèces du bassin de Paris, ce qui établirait la grande antériorité de certains types de mollusques dans les terrains belges relativement au tertiaire parisien.

FLANDRES. — M. Ch. Barrois (1) a fait ressortir l'analogie que présentent les *sables chamois* des Flandres rapportés par M. Ortlieb à l'éocène supérieur, avec les *Upper Bagshot beds* du bassin de Londres; or ces derniers sont, d'après M. Prestwich, les équivalents des sables intercalés, dans l'île de Wight, entre le Barton-Clay et l'oligocène. Ce rapprochement confirme la détermination de M. Ortlieb et indique en outre que le soulèvement de la région wealdienne a dû continuer jusqu'à l'éocène supérieur.

NEAUFLES. — M. Vasseur (2) a décrit un gisement de poissons du genre Lepidosteus et d'autres vertébrés qui caractérise l'argile plastique de Neaufles Saint-Martin, près de Gisors. L'argile y est recouverte par un conglomérat de galets siliceux que M. Hébert place au sommet de l'argile plastique, entre cette formation et celle des sables de Cuise.

RILLY. — Des fossiles marins, à l'état de moules dans un grès ferrugineux, avaient déjà été signalés par M. le Dr Lemoine à la base des sables blancs de Rilly. Cette faune a été retrouvée par M. G. Dollfus (3) sur le chemin de Rilly à Villers-Allerand. On y rencontre les Natica infundibulum, Tornatella parisiensis, Corbula regulbiensis, Cardium Edwardsi, etc., c'est-à-dire des espèces de Châlons-sur-Vesle et de Bracheux.

L'étage des sables de Bracheux comprendrait, selon M. Dollfus, trois horizons : à la base, l'assise glauconieuse de Bracheux et de la Fère; au milieu, les sables de Châlons-sur-Vesle et de Rilly, avec le calcaire subordonné; au sommet, les sables à Ostrea bellovacina du Soissonnais et les lignites. Ces trois horizons offrent d'ailleurs de nombreux passages graduels et méritent d'être réunis en un seul groupe.

BERRI. — M. Douvillé (4) a fait ressortir l'analogie qui unit les gîtes de minerai de fer pisiforme du Berri aux gisements sidérolithiques de la Charente, de la Dordogne, du Lot, de l'Aveyron, du

(1) *Soc. géol. du Nord*, III, 84.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 295.
(3) *Soc. géol. du Nord*, III, 153.
(4) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 106.

Tarn et du Jura. Ce terrain doit donc être compris parmi les dépôts de l'époque paléothérienne et le calcaire lacustre qui le surmonte et lui est intimement uni, doit se placer sur l'horizon du calcaire de Brie avec le calcaire de Château-Landon auquel il se relie par plusieurs lambeaux intermédiaires.

CORSE. — Le terrain nummulitique de l'Ile de Corse a été étudié par M. Hollande (1). On l'observe, sous forme de calcaires et de macignos, à Palasca, dans le bassin du Neffio, au Vecchio, à Ventiseri, etc. Il contient les Nummulites Ramondi, Orbitolites Fortisi, O. submedia, Cyclolites Vicaryi, etc. Le terrain nummulitique de Corse succède directement à l'infra-lias.

TASMANIE. — M. Martin Duncan (2) a reconnu, parmi les fossiles des dépôts éocènes de la Tasmanie, des polypiers coralligènes qui n'ont pu s'y développer que si l'isotherme qui limite la région des coraux s'est étendue, à cette époque, à 15° au Sud de sa position actuelle. M. Duncan ne pense pas que de simples changements dans la distribution relative des continents et des mers aient pu suffire pour produire ce résultat; il est tenté de l'attribuer à un déplacement de l'axe des pôles, hypothèse admise déjà par plusieurs géologues.

ÉTATS-UNIS. — M. Cope (3) a classé les dépôts éocènes du Nouveau-Mexique et du Wyoming, qui sont particulièrement riches en vertébrés fossiles. Il y distingue les horizons suivants :

Formation dite Bridger. . .	Éocène moyen. . . .	Palæosyops. Tillodon. Dinoceras.
Formation de Wahsatch. .	Éocène inférieur. . .	Coryphodon. Tæniodon. Phænacodus. Diatryma.

La formation de Wahsatch comprend les couches dites de la Rivière-Verte, avec restes de poissons, Asineops, Clupea, Osteoglossum.

Étage miocène.

GROENLAND. — L'existence de la formation miocène a été constatée a l'île Sabine, sur la côte orientale du Groënland. En effet,

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], IV. 34.
(2) *Geol. Society*. 10 mai 1876.
(3) *Améric. Journ.* [3], XII. 297.

MM. Payer et Copeland y ont recueilli, dans un schiste intercalé au milieu de grès à végétaux indiscernables, des plantes fossiles que M. Heer (1) a déterminées comme Taxodium distichum, miocenum, Populus arctica, Diospyros brachysepala, Celastrus. Ce gisement miocène se relie à ceux du Spitzberg et du nord-ouest du Groënland.

Gatinais, Orléanais. — M. Douvillé (2) a reconnu que dans une partie du Gâtinais et de l'Orléanais la formation des calcaires de Beauce et celle des argiles et sables de l'Orléanais et de la Sologne est en réalité assez complexe et qu'il y faut distinguer six termes:

1. Formation argilo-sableuse supérieure.
2. Marnes blanches et vertes.
3. Formation argilo-sableuse moyenne.
4. Calcaire supérieur.
5. Formation argilo-sableuse inférieure.
6. Calcaire inférieur.

La première formation est celle des sables et argiles de la Sologne, qui n'a laissé que des témoins entre Gien et Boiscommun. La troisième comprend les sables fossilifères de l'Orléanais, dont les marnes blanches et vertes font réellement partie. Enfin la cinquième, intercalée entre les deux étages du calcaire de Beauce, est désignée par M. Douvillé sous le nom de molasse du Gâtinais.

Belgique. — M. Van Beneden (3) a décrit des os d'oiseau trouvés dans l'argile rupélienne du pays de Waes; ces ossements lui paraissent se rapporter à un palmipède actuel : Anas marina, lequel est encore aujourd'hui un oiseau de passage en Belgique et en Hollande.

Esclavonie. — MM. Neumayr et C. M. Paul (4) ont étudié les couches miocènes supérieures de l'Esclavonie occidentale. On y distingue deux systèmes bien tranchés. A la base, les couches à congéries, où dominent les genres Cardium et Congeria; au sommet, les couches à Paludines, avec Vivipara, Menalopsis et Unio. Le changement de faune est complet d'un étage à l'autre et déterminé par une transformation des conditions physiques et une immigration de nouveaux types.

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 95.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 92.
(3) *Acad. roy. de Belgique*, XXXV, 354.
(4) *Abhandl. d. K. K. g. R.*, VII.

VIENNE. — M. Hörnes (1) a résumé dans le tableau suivant les différents facies dont les formations miocènes du bassin de Vienne sont susceptibles :

	FORMATIONS littorales ou d'eau peu profonde.	DÉPÔTS de passage.	FORMATIONS de mer profonde.
Étage à congéries.	Conglomérat de Richardshofe.		Tegel de Brunn.
Étage sarmatique.	Conglomérat et grès calcaire d'Atzgersdorf et de la redoute des Turcs.	Sable à cérites de Wiesen.	Tegel de Hernals.
2e étage méditerranéen.	Calcaire et conglomérat de la Leitha.	Sable de Pötzleindorf.	Tegel de Baden.
1er étage méditerranéen.	Calcaire d'Eggenburg.	Sable et grès mollasse des environs d'Eggenburg.	Schlier.

CORSE. — D'après M. Hollande (2), le miocène supérieur est représenté en Corse par trois lambeaux isolés. Le premier, celui du golfe de Saint-Florent, déjà décrit par Jean Reynaud, contient de grandes Cyprines, de nombreux Clypéastres et les Schizaster Parkinsoni, S. eurynotus, Balanus crassus, etc. Le second, celui de Bonifacio et du golfe de Santa-Manza, est également riche en Clypéastres et contient, en outre, les Conoclypeus plagiosomus et Echinolampas hemisphæricus. Enfin, le troisième, qui s'observe à Aleria, est depuis longtemps célèbre par ses Clypéastres, Clypeaster marginatus, C. placenta, C. gibbosus, C. Ægyptianus, C. altus. Ses parties supérieures comprennent un sable vert à Helix, Buccinum et Spirulirostra Bellardii, et un grès à Ostrea lamellosa et O. Boblayei.

SICILE. — M. C. W. Fuchs (3) a constaté que le puissant calcaire miocène qui constitue les plateaux voisins de Syracuse offre les mêmes variétés que le calcaire de la Leitha du bassin de Vienne.

En deux points, aux lieux dits Il Plemirio et Il Cappuccini, il a reconnu des couches identiques avec celles de la plaine Sarmate et contenant : Mactra podolica, Tapes gregaria, Ervillia podolica, Donax lucida, etc., et quelques espèces de Cardium,

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R.*, 1875, XXV.
(2) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 36.
(3) *Comitato geol. d'Italia.* Bolletino, 1874. (Extrait par M. Alfred Caillaux.)

Cerithium, Buccinum, qui paraissent correspondre à celles du calcaire des steppes russes.

GRÈCE. — M. de Saporta (1) a repris l'étude des plantes fossiles recueillies dans le miocène de Koumi (Eubée) par M. Gorceix. La flore de Koumi classe cette localité dans l'Aquitanien, sur le même niveau que Radoboj, Armissan et Manosque. Cependant on y retrouve certains types des gypses éocènes d'Aix. Ainsi ces types, déjà vieux en Europe à l'époque de Koumi, avaient été transmis à cette localité comme un legs provenant des âges antérieurs. Tout semble prouver, du reste, que la végétation européenne s'est toujours modifiée lentement et partiellement, par une marche graduée et pour ainsi dire insensible.

CALIFORNIE. — M. J. Marcou (2) annonce qu'il a reconnu l'existence de la formation miocène dans la Californie méridionale, aux environs de Los Angelos, de la Sierra Madre et de Fort Tejon ; les assises qu'il a observées présentent une analogie frappante avec la molasse suisse, aussi bien sous le rapport des roches que par leurs caractères paléontologiques. A San Francisquito, on trouve sous la molasse des schistes qui ressemblent beaucoup à ceux de Saint-Gall. Des épanchements dioritiques se sont fait jour à travers cette molasse.

Étage pliocène.

SUFFOLK. — M. Gunn (3) a étudié une coupe des falaises de Suffolk à Kessingland et à Pakefield, où un dépôt qu'il identifie avec le *Forest-bed* lui a paru inférieur à l'argile de Chillesford. Ce dépôt, riche en troncs d'arbres, mais sans ossements fossiles, est recouvert par une assise d'eau douce avec racines d'arbrisseaux, que surmontent des couches fluvio-marines contenant de rares coquilles du crag. L'auteur incline à ranger cette assise à la hauteur du crag de Norwich, qui, à Bramerton, supporte les sables et argiles de Chillesford.

ANVERS. — M. Van den Broeck (4) a décrit les formations pliocènes d'Anvers. Il les divise en trois groupes : sables inférieurs, sables moyens, sables supérieurs.

Les sables inférieurs ou système diestien comprennent les sables

---

(1) *Annales scientifiques de l'École normale supérieure* [2], II.
(2) *Neues Jahrb.*, 1875, 960.
(3) *Geol. Society*, 17 nov. 1875.
(4) *Société malacologique de Belgique*, 1875.

d'Edeghem ou à Panopœa Menardi, les sables à Pectunculus pilosus ou crag noir et le sable vert à Térébratules. Cette zone comprend 48 pour 100 d'espèces vivantes et correspond au crag corallien.

Les sables moyens, comprenant les sables à Isocardia cor et les sables à bryozoaires avec Terebratula grandis et foraminifères d'eau profonde, renferment 72 pour 100 d'espèces vivantes; 64 pour 100 des espèces leur sont communes avec les sables inférieurs.

Dans les sables supérieurs, M. Van den Broeck réunit les sables à Trophon antiquum de M. Cogels et d'autres dépôts moins connus, qu'il place sur l'horizon du crag rouge anglais et des couches de Chillesford.

M. G. Dewalque (1) a donné quelques détails sur le grès ferrugineux scaldisien exploité comme minerai dans les environs d'Herenthals. On y trouve, à l'état de moules, d'assez nombreux fossiles qui se rapportent à la zone scaldisienne supérieure ou crag jaune.

On doit aussi à M. Dewalque des renseignements sur quelques localités pliocènes de la rive gauche de l'Escaut, près d'Anvers. Le crag jaune sableux, le crag jaune coquillier et le crag gris s'y rencontrent sous le quaternaire. Ces subdivisions, basées sur la couleur, ne présentent d'ailleurs rien de fixe, la teinte des sables pouvant varier beaucoup suivant le degré d'altération de la glauconie.

TERRAIN-POSTERTIAIRE.

Dépôts glaciaires, erratiques et diluviens.

ALLUVIONS ANCIENNES.

Formations glaciaires avec fossiles marins intercalés.

LAC DE CÔME. — Les observations de MM. Stoppani et Desor (2), relativement aux dépôts pliocènes intercalés dans les formations glaciaires du lac de Côme et de la Suisse, ont donné lieu à d'intéressantes discussions. M. Renevier (3) admet que les 83 espèces fossiles de Fino, dont 22 actuellement vivantes, sont bien pliocènes et n'ont pas été remaniées; que les glaciers, à l'époque pliocène, descendaient jusqu'à l'origine des fjords où pénétrait la mer subapennine, mais que les dépôts glaciaires asso-

(1) *Soc. géol. de Belgique*, III. 7.
(2) *Revue de géologie*, XIII. 169.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 187.

ciés aux marnes fossilifères de Fino sont des formations remaniées et stratifiées, probablement déposées dans la mer. En tout cas, M. Renevier admet que le pliocène supérieur a dû être la période de grande extension des glaciers, celle des alluvions anciennes de Genève et des sables d'Asti à Mastodon et que, par suite, cette période doit être intimement réunie au quaternaire qui a vu la fin de l'extension glaciaire.

Mais M. Ch. Mayer (1), qui a visité ces gisements, n'admet pas que les argiles de Fino et de Balerna soient autre chose que des dépôts d'eau douce : pour lui, toute la faune pliocène de Fino est remaniée, composée d'un mélange d'espèces pliocènes inférieures arrachées aux marnes bleues subapennines de Côme et d'espèces pliocènes supérieures prises, avec une partie des gros cailloux roulés, à un gisement primordial de sables jaunes astiens. Le tout, mélangé avec des galets d'abord striés dans un glacier, puis roulés par un courant, aurait été déposé à Fino pendant la débâcle des grands glaciers.

M. de Mortillet (2) a adopté la manière de voir de M. Mayer et M. Tournoüer (3) a fait valoir, en faveur de la même opinion, le caractère essentiellement méridional de la faune subapennine, qui n'aurait pas pu vivre dans un golfe où un grand glacier aurait envoyé ses eaux réfrigérantes.

M. Alph. Favre (4), de son côté, déclare n'avoir su trouver, entre Mendrisio et Chiasso, aucune association de fossiles pliocènes avec le terrain glaciaire ; le monticule de Cassina Rizzardi, dans lequel on avait voulu voir une moraine, serait simplement une alluvion postglaciaire et les fossiles qui s'y trouvent y auraient été amenés au même titre que les cailloux roulés.

Lyon. — Des fossiles d'eau douce ont été rencontrés à Vancia, près de Lyon, à la base du terrain erratique glaciaire et au-dessus des alluvions anciennes. M. Tournoüer (5) y a reconnu des formes de valvées et de paludines qui rappellent les espèces actuelles de l'Amérique du Nord et de la Sibérie; cette faunule aurait vécu pendant une période de calme entre le dépôt des alluvions anciennes et la progression des glaciers. Sa situation serait analogue à celle du tuf quaternaire de La Celle, près Moret (6).

(1) *Bull. soc. géol.* [3], IV, 199.
(2) *Bull. soc. géol.* [3], IV, 223.
(3) *Ibid.*, 223.
(4) *Bibl. universelle de Genève*, janvier 1876.
(5) *Bull. soc. géol.* [3], III, 741.
(6) *Revue de géologie*, XIII, 147.

M. Falsan (1) a cherché à établir que la présence de fossiles miocènes et pliocènes au milieu des alluvions glaciaires et du terrain erratique de Lyon devait être attribuée à des remaniements, opérés par les anciens glaciers, de couches déjà émergées : suivant lui, la mer a quitté la région lyonnaise à la fin de l'époque miocène pour n'y plus revenir ensuite.

Isère. — M. Fontannes (2) a étudié le cailloutis de la vallée de la Fuly (Isère), qui renferme des fossiles marins et notamment la Nassa Michaudi. Pour lui, ce dépôt provient du remaniement d'une formation dont le type se trouve dans les sables mio-pliocènes à buccins d'Heyries, sables caractérisés par l'association des buccins avec les genres Helix et Auricula. Ce remaniement aurait eu lieu avant l'arrivée des grands convois de quartzites et de roches cristallines des Alpes.

Ain, Italie. — M. Tardy (3) admet que la période des mastodontes a été séparée de celle de l'Elephas meridionalis par une première époque glaciaire pliocène qui serait représentée, en Auvergne à Perrier, dans l'Ain à Bourg et près de Turin à Rivoli.

Classification des dépôts diluviens.

D'après M. F. Sandberger (4), les dépôts pleistocènes ou diluviens commencent avec le Forest-Bed de Norfolk pour finir avec les graviers des bas niveaux ; ces graviers se distinguent des alluvions parce qu'on y rencontre des animaux qui ont complétement disparu de la surface du globe.

Entre ces deux termes extrêmes, la série pleistocène n'offre qu'un seul dépôt assez constant pour servir d'horizon. C'est le *loess des vallées*, qui se serait déposé dans les anses des rivières, mais à une hauteur notable au-dessus du niveau actuel des eaux. Ce loess est connu dans les vallées suivantes : Garonne, Rhône, Somme, Seine, Meuse, Moselle, Rhin, Lahn, Main, Neckar, Aar, Isar, Inn, Dniepr, Elbe, Saale, Unstrut, Werra, etc. Les fossiles caractéristiques, mollusques ou mammifères, Succinea oblonga, Helix hispida, H. arbustorum, Pupa muscorum, P. columella, Elephas primigenius, Rhinoceros tichorhinus, Cervus tarandus,

(1) *Bull. soc. géol.* [3], III, 727.
(2) *Bull. soc. géol.* [3], IV, 224. — *Ann. soc. d'agr. de Lyon*, juillet 1875.
(3) *Bull. soc. géol.* [3], IV, 285.
(4) *Neues Jahrb.*, 1876, 571.

Hyæna spelæa, sont partout les mêmes et prouvent que le loess, dans toute l'Europe, s'est déposé à la même époque. Pour M. Sandberger, cette époque coïncide avec la période glaciaire.

M. Ch. Mayer (1) a donné une classification des dépôts diluviens, formant ce qu'il appelle l'étage *saharien*.

Le sous-étage supérieur, caractérisé par les couches de Saint-Acheul, comprend le diluvium gris et le loess du nord, les dépôts des cavernes à Ursus spelæus, l'erratique de l'Allemagne septentrionale.

Le sous-étage moyen ou couches de Dürnten comprend les lignites de Moerschwyl, Utznach, Dürnten, Wetzikon, et les sables à Megaceros euryceros de Borgo d'Arena et d'Arezzo.

Le sous-étage inférieur, ou couches de Cromer, comprend le Forest-bed de Cromer, les marnes à Elephas meridionalis des environs de Dijon, les tufs à Rhinoceros etruscus et Hippopotamus major d'Auvergne, la craie lacustre inférieure aux lignites du sous-étage moyen, les graviers et sables à Elephas meridionalis de l'Astésan et de Sansino.

Alluvions et dépôts glaciaires.

Suisse. — M. Alphonse Favre (2) distingue dans les environs de Genève trois sortes de dépôts erratiques :

1° *L'alluvion ancienne*, formée de galets roulés, dont quelques-uns viennent de fort loin : ainsi, en aval de Genève, on y trouve des galets d'euphotide qui ne peuvent provenir que du Valais et ont dû, par suite, traverser l'emplacement actuel du lac de Genève; cette alluvion ancienne se sépare, par tous ses caractères des dépôts supérieurs et pourrait bien se relier au terrain tertiaire.

2° *L'alluvion glaciaire*, à blocs polis et striés, avec nombreux blocs erratiques, quelques-uns très-gros : ce dépôt forme une grande partie de la plaine de Genève et du fond du lac et s'élève à de grandes hauteurs sur les Voirons et au Salève.

3° *L'alluvion postglaciaire*, formée de cailloux roulés et de sables, charriés par les torrents provenant de la fusion des anciens glaciers : on y a trouvé des débris d'Elephas primigenius et de Renne.

Cette alluvion forme des terrasses dont la plus remarquable est

(1) *Bull. soc. géol.* [3], IV, 222.
(2) *Bull. soc. géol.* [3], III, 656.

à 30 mètres de hauteur au-dessus des eaux actuelles du lac de Genève. Les terrasses inférieures passent insensiblement aux alluvions modernes.

M. Lory (1) a constaté, comme M. Alph. Favre, l'intercalation d'une lentille de boue glaciaire au milieu des alluvions anciennes du confluent de l'Arve et du Rhône. Ce fait semble indiquer une liaison intime entre l'ancienne extension des glaciers et les grands dépôts d'alluvion : les deux phénomènes étaient contemporains, la marche des glaciers étant, comme aujourd'hui, sujette à des alternatives de progression et de recul.

M. Alphonse Favre (2) a dressé, à l'échelle de $\frac{1}{250.000}$ une carte représentant l'ancienne extension des glaciers en Suisse. L'auteur a pu distinguer : 1° les névés de l'époque glaciaire; 2° les glaciers lors de leur plus grande extension; 3° les dépôts glaciaires, anciennes moraines, amas de blocs et blocs isolés remarquables.

M. Favre a constaté que plusieurs des anciens glaciers atteignaient 1.500 et 1.600 mètres d'épaisseur. De plus, en comparant la surface des glaciers réservoirs à celle des glaciers d'écoulement, il a trouvé des nombres égaux, tant pour le glacier du Rhône que pour celui du Rhin.

M. Colladon (3) a étudié les terrasses de cailloux roulés du lac Léman. Il a fait remarquer que, quand ces terrasses sont complètes, elles sont formées par des couches notablement inclinées de sables et de graviers, présentant une certaine homogénéité et une remarquable régularité d'allures; que toutes ces couches, inclinées de 30 à 35 degrés, se terminent brusquement à un plan supérieur presque horizontal et sont alors couronnées par une couche horizontale de galets et de gros graviers. Cette allure indique un delta dont l'arête de déversement se déplaçait progressivement en avant, et à la surface duquel la rivière déposait ses plus gros matériaux de transport au moment où la vitesse du courant s'amortissait un peu avant l'entrée des eaux dans le lac tranquille. La couche de galets indique donc exactement l'ancien niveau du lac, et c'est ainsi qu'on peut constater, à l'aide des tranchées exécutées dans le quartier de l'Observatoire, à Genève, que le niveau du Léman a dû s'abaisser de 30 à 33 mètres depuis

(1) *Bull. soc. géol.* (3), III, 723.
(2) *Bull. soc. géol.* (3), III, 715.
(3) *Bull. soc. géol.* (3), III, 661.

le dépôt de ces graviers ; quant à la rivière qui les apportait, ce ne pouvait être que l'Arve.

M. Tardy (1) croit que les alluvions anciennes du Bois de la Bâtie, à Genève, celles qui contiennent des cailloux du Valais, sont le remaniement d'un ancien dépôt glaciaire qui aurait été contemporain du glaciaire inférieur aux lignites de Dürnten. Cette première époque glaciaire aurait marqué la fin de la période pliocène.

ITALIE. — M. Omboni (2) a rendu compte d'une excursion faite par les naturalistes italiens aux Marocche, collines qui se trouvent sur la route conduisant du lac de Garde à Trente par Arco et Vezzano. Ces collines seraient d'anciennes moraines frontales abandonnées par le glacier de l'Adamello ; la colline qui borde le petit lac de Cavedine serait une moraine latérale déposée par le glacier en retraite avant d'abandonner complétement le bassin d'Arco.

ALLEMAGNE DU NORD. — Des fouilles importantes exécutées récemment auprès de Berlin ont conduit M. Lossen (3) à dresser le tableau suivant pour les formations diluviennes de la Marche de Brandebourg :

I. Diluvium supérieur (sans Paludines). — Lehm supérieur marneux à blocs erratiques.
Sable.

II. Diluvium inférieur, à Paludina diluviana :
1° Faciès sableux, comprenant : sable diluvien principal, sable micacé et marneux.
2° Faciès argileux et limoneux, formé du lehm inférieur à galets et de l'argile de Glindow.

M. Berendt (4) a réussi à trouver dans la Prusse orientale, comme il l'avait fait dans la Prusse occidentale, une faune marine dans le terrain diluvien. Sur le chemin de fer de Thorn à Insterburg on a ouvert des exploitations où ont été rencontrés Cardium edule, Buccinum reticulatum, Cyprina islandica, Mactra solida, Tellina solidula, Ostrea edulis, associés avec une forme d'eau douce, Valvata piscinalis.

SAXE. — M. Hermann Credner (5) admet, dans le terrain

(1) *Bull. soc. géol.* (3), IV. 181.
(2) *Gite alle Marocche*, Arco, 1875.
(3) *Zeit. d. d. g. G.*, XXVII. 490.
(4) *Zeit. d. d. g. G.*, XXVI. 517.
(5) *Neues Jahrb.*, 1876, 9.

quaternaire des collines de la Saxe, trois étages distincts admis également par M. Mietzch.

L'étage inférieur ou *diluvium ancien* couvre les plateaux et les hauteurs; sa stratification est ondulée. Il est formé de blocs erratiques et de sable venant du Nord, c'est-à-dire de la Scandinavie et de la Baltique.

L'étage moyen ou *diluvium récent*, en discordance avec le premier, dont il est séparé par le phénomène qui a achevé le creusement des vallées, repose, en stratification générale inclinée, sur les versants des vallées. Il se compose de graviers fluviatiles, à éléments empruntés au cours supérieur des vallées où on l'observe et surmontés par le lehm sans cailloux des pentes; ce lehm est généralement dépourvu de calcaire. Par exception, il en peut contenir et renferme dans ce cas des concrétions calcaires, ainsi que des coquilles d'eau douce et des ossements; il devient alors du *loess*. La formation du diluvium récent est attribuée par l'auteur à des inondations ainsi qu'à un développement excessif des précipitations atmosphériques.

Enfin, l'étage supérieur, qui repose horizontalement sur le fond des vallées, se compose des *alluvions* formées de graviers à la base et de lehm des prairies au sommet.

BOHÊME. — M. Credner (1) a signalé la présence, dans le nord de la Bohême, de blocs erratiques d'origine scandinave dans les limons et graviers quaternaires. Ainsi la mer diluvienne du Nord projetait un golfe en Bohême. La limite supérieure du diluvium septentrional se trouve dans la Lausitz à 407 mètres au-dessus de la mer; c'est sans doute par-dessus le plateau des grès de la Suisse saxonne que se faisait la communication. Déjà M. Gutbier avait signalé des galets du Nord dans la Suisse saxonne à une altitude d'au moins 370 mètres.

NEW-HAVEN. — M. J. D. Dana (2) a annoncé la découverte d'un tibia de renne, faite à 2 mètres au-dessous de la surface du sol, dans une couche argileuse d'origine glaciaire, faisant partie du terrain erratique de New-Haven. L'ossement est très-bien conservé, et M. Dana y voit la preuve que le renne, qu'il croit identique avec l'espèce européenne, a suivi immédiatement la retraite du grand glacier.

---

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 90.
(2) *Neues Jahrb.*, 1876, 43.

Hypothèses sur la période glaciaire.

M. Belt (1) attribue les phénomènes de l'époque glaciaire dans le Sud de l'Angleterre à l'existence d'un grand glacier ayant son origine au Groënland, traversant l'Atlantique et venant toucher la pointe de Cornouailles. Ce glacier formait une digue contre laquelle toutes les eaux descendues de l'Europe centrale venaient s'arrêter en donnant naissance à un grand lac d'eau douce. La période glaciaire aurait débuté par un abaissement du niveau de la mer, survenu avant le dépôt du *forest-bed*, et permettant à l'homme paléolithique et à un grand nombre de mammifères de passer directement du continent en Angleterre. Ensuite, l'arrivée de la glace aurait déterminé la retraite de cette faune et l'apparition des mammifères arctiques; bientôt la période glaciaire atteignait son apogée, et c'est alors que le grand glacier fermait la Manche et transformait l'Europe du Nord en un vaste lac. Puis les glaces se retiraient vers le Nord, et la débâcle produite par la rupture de la barrière de la Manche déterminait les dépôts tumultueux de graviers qu'on observe dans les bas niveaux des vallées du Cornouailles et du Devonshire. Puis, un retour momentané du glacier atlantique fermait de nouveau la Manche, et il se produisait un lac, mais moins profond que le précédent et dont la décharge, plus tranquille, faisait naître le boulder-clay de Norfolk et Suffolk. Enfin, la retraite du glacier atlantique jusqu'en Écosse, avant que la mer eût encore reconquis son niveau primitif, coïncidant avec une jonction entre l'Angleterre et le Continent, déterminait l'arrivée de l'homme néolithique avec la faune qui lui est associée.

M. Ricketts (2) ne pense pas que la période glaciaire puisse être expliquée, comme le veut M. Croll, par des causes astronomiques dépendant de l'excentricité de l'orbite terrestre et de la coïncidence entre les hivers de l'hémisphère boréal et le passage de la terre à l'aphélie. Il croit que des causes purement géographiques, telles que le déplacement du Gulf-Stream, produiraient des effets bien autrement considérables.

M. Ricketts, remarquant qu'il y a toujours coïncidence entre les phénomènes glaciaires et l'affaissement des continents relativement aux mers voisines, suppose qu'un tel affaissement a pu se produire dans l'hémisphère nord sous le poids de la neige accu-

(1) *Geol. Society*. 3 nov. 1875.
(2) *Geol. Mag.*, 1875, 573.

mulée à sa surface. Il est à peine besoin de faire remarquer combien cette hypothèse est peu admissible. Quelque idée qu'on se fasse de l'épaisseur actuelle de l'écorce terrestre, il semble évident qu'elle est beaucoup trop rigide pour que le poids de la neige et de la glace de la période glaciaire ait pu sérieusement influer sur son équilibre.

D'après M. F. W. Hutton (1), on n'a jusqu'à présent fait aucune observation qui permette de croire à l'existence d'une période glaciaire dans l'hémisphère méridional.

L'auteur établit que les seules preuves qu'on puisse admettre comme établissant une réduction antérieure de la température au niveau de la mer sont : 1° une migration de faune vers l'équateur, causée par l'invasion du froid; 2° une ancienne extension des glaciers jusqu'à la mer dans des régions où ils se terminent aujourd'hui à une plus grande hauteur. Or, selon M. Hutton, aucune preuve de ce genre n'a encore été recueillie dans l'hémisphère sud.

La Nouvelle-Zélande, dont les deux extrémités offrent des différences marquées dans leurs faunes marines, présente, en son milieu, au détroit de Cook, des dépôts pliocènes et pleistocènes, contenant environ 80 p. 100 d'espèces vivantes. De plus, ces espèces sont aujourd'hui connues dans le détroit de Cook ou au nord de ce détroit.

Quant à l'Australie, M. Mac Coy est d'avis que, dans la colonie de Victoria, la diminution de la température a été régulière et non interrompue jusqu'à l'époque actuelle.

Enfin, d'après Darwin, en Patagonie les couches pleistocènes contiennent les mêmes formes vivantes que celles qu'on observe à peu de distance dans les mers de nos jours.

---

(1) *Geol. Mag.*, 1875, 580.

QUATRIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE GÉOGRAPHIQUE.

La quatrième partie de cette revue restera consacrée à l'examen des descriptions et des cartes géologiques; elle comprendra les travaux qui ont plus spécialement pour but de faire connaître la constitution géologique d'un pays ou d'une région.

EUROPE.

ROYAUME-UNI.

CUMBERLAND. — M. Clifton Ward (1) a étudié les *roches métamorphiques* associées au *granite* de Skiddaw, dans la région des Lacs. Le métamorphisme du schiste s'étend à une distance de plusieurs kilomètres autour du granite, et commence par la formation de petites taches qui se développent ensuite en cristaux de chiastolite. Le schiste à chiastolite (*schiste maclifère*) passe ensuite à un schiste tacheté, où le mica apparaît, puis au *micaschiste*, qui parfois contient encore des macles. Conformément aux observations faites précédemment sur le même sujet, l'auteur ne croit pas que le métamorphisme extrême des schistes, qui entourent immédiatement le granite, doive être attribué à une action de contact exercée par cette dernière roche.

HASTINGS. — Le sondage de Hastings, duquel nous avons déjà parlé, a été entrepris pour reconnaître ce qui se trouve au-dessous du terrain wealdien, dans le sud de l'Angleterre. Comme l'a fait observer le professeur Phillips, on peut se demander si l'oolithe jurassique conserve, dans cette région, ses caractères habituels, ou si, au contraire, elle diminue d'épaisseur, comme cela s'observe à l'est des comtés situés au milieu de l'Angleterre. Or, le sondage a appris que l'*argile de Kimmeridge* existe, et qu'elle ne finit que

---

(1) *Geol. Society*, 17 nov. 1875.

vers la profondeur de 532 mètres; en sorte que, non-seulement elle ne disparaît pas, comme le pensaient certains géologues, mais qu'elle continue vers le détroit du Pas-de-Calais; elle présente même à Hastings une épaisseur notablement plus grande que partout ailleurs. D'après cela, M. Warington W. Smyth (1) fait remarquer que les autres étages de l'oolithe ont probablement leur épaisseur normale, et qu'on ne pourrait, sans doute, atteindre les terrains paléozoïques ainsi que la houille avant la profondeur de 1.000 mètres.

PORTUGAL.

MM. Ribeiro et J. P. Nery Delgado ont fait paraître en 1876 une carte géologique du Portugal. Cette carte, qui est à l'échelle de $\frac{1}{500.000}$, donne la série des terrains conformément aux divisions généralement adoptées dans ces dernières années. Elle distingue, indépendamment du silurien et du dévonien, les deux étages du carbonifère, les quatre étages du jurassique, le wealdien, le crétacé inférieur et le crétacé supérieur. Le tertiaire y est séparé en trois étages, celui du milieu étant seul marin et les deux autres lacustres.

Les différentes roches éruptives, ainsi que les roches métamorphiques, sont également représentées sur cette nouvelle carte du Portugal.

FRANCE.

Un rapport de M. J. Gosselet (2) résume les progrès importants que la géologie a faits depuis dix ans dans le nord de la France, progrès auxquels il a pris lui-même une grande part.

Pas-de-Calais. — MM. Potier et de Lapparent (3) ont fait connaître sommairement les résultats de la campagne de sondages entreprise en 1875 en vue du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre. L'affleurement de la *craie de Rouen* a été reconnu depuis le cap Blanc-Nez jusqu'aux eaux anglaises. Dans cet intervalle, il n'a offert qu'un seul plissement, situé sur l'axe du bas-fond des Quenocs, près de la côte française. Mais la direction des couches indique qu'il doit y avoir un second pli dans le voisinage de la côte anglaise.

(1) *Royal geol. Soc. of Cornwall*. Annual Report. 1875.
(2) *Annales de la Société géologique du Nord de la France*, I, 86. 1874.
(3) *Bull. Soc. géol.* [3]. IV. 58.

LISIEUX. — Un sondage a été exécuté par M. Lippmann, vis-à-vis la station de Lisieux : les couches qu'on y a traversées appartiennent au *jurassique* moyen et sont de haut en bas :

	mètres.
Alluvions argilo-caillouteuses de la vallée de la Touques.	2.00
Calcaire corallien........................	26.00
Sable blanc..........................	3,00
Marne............................	0,60
Argile oxfordienne, variant du brun au rouge, avec quelques lits sableux......................	189,00
Total....................	220,60

Ce sondage, commencé à la cote de 50 mètres environ, avait pour but la recherche d'eaux jaillissantes qu'on espérait trouver dans la grande oolithe; mais il a été arrêté, même avant qu'on atteignît la fin de l'*argile oxfordienne*, qui est d'ailleurs facilement reconnaissable par de nombreux fossiles. Une nappe d'eau souterraine a bien été rencontrée dans le sable situé à la base du corallien; toutefois elle remonte seulement jusqu'à une douzaine de mètres en contre-bas du sol. De plus, d'après un essai qu'en a fait M. Lodin, ingénieur des mines du Calvados (1), elle dépose de l'oxyde de fer et elle contient des sulfates de chaux et d'alumine provenant vraisemblablement de l'altération de pyrites.

BASSE LOIRE. — Le bassin anthracifère de la basse Loire, dont la connaissance est due surtout aux recherches de Triger et des auteurs de la carte géologique de France, a été étudié, dans ces dernières années, par M. Brossard de Corbigny (2).

Si l'on fait, avec MM. Rolland et Cacarrié, une coupe générale du *terrain anthracifère* aux environs de la Haie-Longue, on peut distinguer huit systèmes de couches de charbons, savoir : quatre au nord du bassin (les Essarts, la Haie-Longue, les Noulys, le Belair), et quatre au sud (le Vouzeau, Goismard, le Bocage, le Poirier Samson). Mais M. Brossard de Corbigny observe que les travaux exécutés jusqu'à présent, bien qu'atteignant la profondeur de 560 mètres, ne montrent pas d'une manière bien nette la forme de bassin; il ne lui paraît même pas absolument certain qu e les couches de charbon du nord soient le relèvement de celles du sud. On ne parvient pas à constater la correspondance qui devrait exister sur les deux versants entre les couches de charbon

(1) Extrait d'une lettre adressée par M. Lodin à M. Delesse, décembre 1870.
(2) *Annuaire de l'Institut des Provinces*. 23e vol. 1871.

et les couches de schiste, de grès, de *pierre carrée* et de poudingue qui lui sont associées.

M. Brossard de Corbigny ajoute que si l'on prend comme type la coupe de la Haie-Longue, qui s'applique à la partie la plus riche du bassin, on éprouve aussi de grandes difficultés à établir la concordance entre les couches de localités peu éloignées, comme Montjean, Beaulieu, Saint-Georges Chatelaison.

A Beaulieu, notamment, les couches de charbon cessent d'être parallèles comme à Chalonnes, et une coupe verticale montre que cinq couches, qui sont distinctes près de la surface, vont en se rapprochant successivement dans la profondeur et finissent, en définitive, par se réunir en une seule à la profondeur de 200 mètres.

A Saint-Georges Chatelaison, les couches sont contournées de la manière la plus bizarre.

Du reste, dans le département de la Loire-Inférieure et vers l'extrémité ouest du bassin, on retrouve encore de grands dérangements qui ont été mentionnés précédemment par M. l'ingénieur des mines E. Lorieux (1).

Montbert. — M. G. de Tromelin (2) signale à Montbert, près des limites du département de la Vendée, des empreintes végétales dans un grès tertiaire, très-fin, qui passe à une argile blanche siliceuse. Ce grès est superposé à des poudingues. On sait d'ailleurs que des dépôts très-épais formés de sables, de grès et de poudingues, occupent, à la surface du sol, de très-vastes étendues dans la Bretagne, le Maine, l'Anjou, et sont supérieurs aux faluns de la basse Loire.

A Montbert, les empreintes végétales sont assez mal conservées et ne peuvent être déterminées spécifiquement; M. de Saporta a cependant reconnu des feuilles des genres Nerium et Podocarpus, ainsi que des fruits de Stellaria et de Callitris; du reste cette flore diffère beaucoup de celle du grès à Flabellaria de l'Anjou, et elle semble indiquer un âge *mio-pliocène*.

Puy-de-Dôme. — M. F. Gonnard (3) a réuni toutes les données que l'on possède sur les nombreuses *espèces minérales* du département du Puy-de-Dôme. Indépendamment de leur forme cristalline et de leur composition chimique, il fait connaître leur

(1) *Annales des mines* [6], XI, 247.
(2) *Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*, 1875, 59.
(3) *Minéralogie du Puy-de-Dôme*, 2e éd., 1876. — *Mémoire sur les zeolithes de l'Auvergne*, 1873.

gisement; cet ouvrage sera donc utile à tout géologue visitant l'Auvergne.

Dans un mémoire spécial sur les *zéolithes* de l'Auvergne, M. Gonnard indique quelles sont les diverses roches dans lesquelles on les observe; il en signale des gisements nouveaux, découverts par lui ainsi que par MM. Laval, A. Julien et Damour; il discute, en outre, les diverses hypothèses proposées pour expliquer leur formation.

Gironde. — M. V. Raulin (1) vient de publier une carte géologique du département de la Gironde. Cette carte, qui est à l'échelle de $\frac{1}{160.000}$, diffère assez notablement de celle dressée précédemment par MM. les ingénieurs des mines Drouot et Pigeon. Comme le remarque M. Raulin, en allant, dans le département de la Gironde, du N.-E. au S.-O., on trouve successivement des terrains plus récents. La craie se relève accidentellement en deux points de la Lande. L'éocène se rencontre à peu près seul au nord de la Dordogne, à l'est de la Gironde et dans les vallons du Médoc. Le miocène inférieur occupe surtout le pays situé entre la Dordogne et la Garonne (Entre-deux-mers); le miocène supérieur se montre seulement dans les vallons qui débouchent dans la vallée de la Garonne, entre Grignols et Blanquefort. Le pliocène, représenté par le sable des Landes, occupe la rive gauche de la Garonne.

Salins. — L'existence *de dépôts glaciaires* a été constatée aux environs de Salins; ainsi, à 3 kilomètres de cette ville, au-dessus du calcaire à gryphées de Cernans, M. le docteur Coste (2) a observé des traces évidentes d'un ancien glacier qui a produit des roches polies et striées et une moraine jurassique.

En outre MM. Vézian et Choffat ont découvert un petit bloc erratique de gneiss au sommet du mont Poupet.

Dans ces derniers temps, des cailloux glaciaires alpins ont également été signalés par M. E. Benoît (3) sur divers points du Jura.

Pic-du-Gar. — M. Leymerie (4) a résumé dans une notice sur le Pic-du-Gar, près de Saint-Béat (Haute-Garonne), ses observations sur la constitution géologique de cette montagne; il y a

---

(1) *Soc. de géographie commerciale de Bordeaux*. 1876. 223.
(2) Lettre à M. Delesse, septembre 1876.
(3) *Bull. de la Soc. géol.*
(4) Montpellier, *Revue des sciences naturelles* (t. IV, mars 1876).

joint un profil orographique et géognostique qui met en évidence l'allure extérieure de ces différentes roches.

Dans ce petit chaînon montagneux, M. Leymerie distingue trois grandes régions, d'après l'aspect superficiel du terrain.

La région qu'il nomme rugueuse, située à la base, comprend le terrain *granitique* et les schistes *cambriens*. Au milieu, se trouve la région dite tranquille, qui est constituée par le *silurien* et le *dévonien*. Quant à la partie supérieure à laquelle la structure déchiquetée des escarpements rocheux fait donner le nom de région hérissée, elle se compose du *jurassique* et du *crétacé*.

Midi de la France. — On doit à M. Torcapel (1) une coupe des terrains traversés par le chemin de fer de Lunel au Vigan. Cette coupe comprend, de haut en bas, les *alluvions modernes* et *anciennes*, la *molasse*, *l'éocène* lacustre, le *néocomien* complet, le calcaire à Terebratula diphyoïdes à sa base, le calcaire à Terebratula moravica, la zone à Ammonites polyplocus, *l'oxfordien*, *l'oolite inférieure*, enfin des *calcaires cristallins* et des *micaschistes*.

M. Torcapel considère les calcaires à Amm. polyplocus et ceux à Ter. moravica comme représentant *l'étage jurassique supérieur*; il pense que les dépôts néocomiens leur ont succédé sans lacune importante.

CORSE.

M. Hollande (2) a signalé la présence, en Corse, de *l'infrà-lias*, du *trias*, et des *terrains primaires*, représentés par des couches qu'on avait classées jusqu'alors dans les terrains crétacé ou nummulitique.

HOLLANDE.

Utrecht. — M. Dewalque (3) a étudié les échantillons provenant d'un puits artésien actuellement foré à Utrecht. A partir de la profondeur de 238 mètres, on est resté dans des sables fins, gris, plus ou moins argileux, qui se continuent jusqu'à 368 mètres. D'après l'examen microscopique qu'en a fait M. Van den Broeck, les foraminifères de ces sables indiquent un même dépôt *scaldisien*, le crag gris d'Anvers. Ce crag gris aurait donc à Utrecht une épaisseur de plus de 130 mètres et ses foraminifères indiqueraient qu'il s'est formé sous une eau d'une profondeur moyenne.

(1) *Bull. Soc. géol.* (3), IV, 15.
(2) *Comptes rendus*, LXXXI, 506.
(3) *Soc. géol. de Belgique*, 1876.

ALLEMAGNE.

SALZBRONN. — Dès l'année 1847, le gîte de sel de Salzbronn, près Sarralbe dans l'ancien département de la Moselle, a été décrit par M. Levallois (1). Depuis cette époque, plusieurs sondages ont été faits et, d'après M. G. de Zerzog (2), on a constaté que le sel gemme plonge vers l'ouest et qu'il disparaît vers l'est à 222 mètres seulement du premier sondage. Voici l'ensemble des couches traversées :

	mètres.
Terre végétale, alluvions et graviers	4,50
Couches inférieures des marnes irisées	69,18
Muschelkalk	115,84
Gypse et argile salée	14,83
Anhydrite	7,24
Argile fétide et bitumineuse	7,90
Argile gypseuse avec nids de sel	2,08
Sel gemme	19,40
Gypse	2,03
Somme	243,00

On voit bien par cette coupe que le sel gemme et le sulfate de chaux qui l'accompagnent, sont au-dessous des marnes irisées et dans le *muschelkalk;* ils appartiennent à la partie moyenne de ce dernier étage, c'est-à-dire au groupe de l'anhydrite d'Alberti. Vers la base, les couches du *muschelkalk*, traversées à Salzbronn, deviennent d'ailleurs oolithiques, glauconieuses, et contiennent du silex.

HÖNIGSEN. — Dans le Hanovre, à Hönigsen, la Société belge Virginia a fait exécuter par M. Lippmann (3) un sondage dont la profondeur dépasse 540 mètres et qui n'est pas moins important au point de vue géologique qu'au point de vue industriel.

Le terrain de transport de Hönigsen présentant des traces de bitume, le sondage avait d'abord été entrepris dans le but de rechercher du pétrole et il a amené la découverte de bancs de *sel* d'une grande épaisseur.

(1) *Ann. des mines* [4], XI, 3.
(2) Lettre à M. Delesse, 1876.
(3) Rapports manuscrits communiqués à M. Delesse.

			Épaisseur.	Profondeur.
Tertiaire, Diluvien.		Sable gris bleu.	5,30	5,30
		Sable noir avec goudron.	3,20	8,50
		Sable éboulant, gris, avec lignite. .	3,52	12,02
		Sable gris éboulant	2,68	14,70
		Gros gravier avec silex.	8,80	23,50
		Sable éboulant, blanc, très-fin. . .	17,20	40,70
Keuper.		Marne blanche.	1,55	42,25
		Marne bleu-clair.	3,35	45,60
		Marne bleue avec gypse.	3,20	48,80
		Marne rouge.	14,50	63,30
		Gypse dur	10,02	73,32
		Marne gris-rouge.	6,18	79,50
		Marne gris-blanc.	0,76	80,26
		Marne rouge avec gypse.	28,08	108,34
		Marne salée, verdâtre.	6,27	114,61
		Marne rouge, salée.	20,80	135,41
		Marne rouge.	31,86	167,27
		Marne rougeâtre, salée.	3,26	170,53
		Marne rouge à plaquettes de gypse.	3,28	173,81
	I.	*Sel* marin dur. . . . . +	19,56	193,37
		Gypse dur.	0,07	193,44
		Sel dur. . . . . +	6,05	199,89
		Gypse rouge clair.	1,35	201,44
		Sel dur. . . . . +	14,79	216,03
		Marne rouge, salée.	13,44	229,47
	II.	*Sel* dur. . . . . +	2,94	232,41
		Gypse dur.	0,18	232,59
		Sel dur. . . . . +	10,26	242,85
		Gypse dur.	1,40	244,25
		Marne rouge, salée.	7,93	252.18
	III.	Marne et *sel*. . . . . +	19,63	271.81
		Sel dur. . . . . +	31,63	303.44
		Sel tendre. . . . . +	77,69	381.13
		Marne rouge, salée.	17.63	401.76
	IV.	*Sel* dur. . . . . +	92,74	494,50
		Sel et gypse très-dur.	3,38	497.88
		Gypse très-dur.	1.17	499,05
		Sel dur. . . . . +	5,33	504,38
		Sel et gypse marneux.	1.95	506.33
		Sel dur. . . . . +	11,67	518,00
		Sel dur et gypse très-dur. . . . +	1.33	519.33
		Gypse très-dur.	0.82	520.15
		Marne rouge, tendre.	2.22	522.37
		Gypse marneux et *sel*.	0.56	522,93
		Gypse dur.	3.25	526.18
		Grès gris, très-dur.	1.99	528.17
		Gypse gris, dur.	11,05	541.23

D'après M. Ad. Gurlt, au-dessous du terrain de transport qui a 8^{m},50 d'épaisseur, on traverse 32^{m},20 de terrain tertiaire avec lignite, puis le keuper formé d'alternances de marnes, de gypse et de sel. Le sel gemme présente quatre bancs puissants dont l'épaisseur totale est environ de 299 mètres. La recherche des *sels de potasse* a montré qu'il y en a seulement des traces dans le 1er, le 2e et le 4e banc; tandis que dans le 3e banc et vers la profondeur de 303 à 381 mètres, le sel tendre en contient environ 5 p. 100. Ce sel tendre se trouve à la base du 3e banc; mais il faut remar-

quer qu'il est au-dessus du 4ᵉ banc dont l'épaisseur est la plus grande et atteint environ 106 mètres; que, de plus, il en est seulement séparé par une marne rouge salée : il semble donc que, de même qu'à Stassfurt, les sels de potasse se soient déposés par une évaporation d'eaux mères restant après la cristallisation de masses très-puissantes de sel.

M. Gurlt observe que le sel d'Hönigsen est en couches trop épaisses pour qu'on puisse le rapporter au *röth*, c'est-à-dire à la partie supérieure du grès bigarré. Ses caractères doivent, au contraire, le faire attribuer au *keuper moyen* qui existe d'ailleurs dans son voisinage et sur plusieurs points de la province de Hanovre. Quoi qu'il en soit, tout indique qu'il y a autour d'Hönigsen un bassin salifère exceptionnellement riche qui est à la fois très-puissant et très-étendu et qui, par cela même, paraît avoir une origine marine.

SAXE. — M. Kalkowsky (1) a étudié le gisement du *gneiss rouge* et du *calcaire cristallin* de Griesbach, dans l'Erzgebirge. Le calcaire est de la calcite presque pure : on y observe des intercalations de roches silicatées, qui ne sont que des variétés de schiste micacé gneissique. Il n'y a aucun passage entre ces roches et le calcaire dans lequel elles forment des lentilles de peu d'étendue. Au contact du gneiss rouge, le calcaire renferme du quartz et du mica, et le gneiss contient du calcaire. L'auteur en conclut que le gneiss et le calcaire sont de formation contemporaine et qu'il n'y a pas entre ces deux roches l'indépendance qui devrait exister si le gneiss était éruptif et s'était épanché à travers le calcaire. Les caractères de ces deux roches indiquent visiblement qu'elles ont été soumises au métamorphisme normal ou régional.

AUTRICHE-HONGRIE.

TYROL. — M. C. W. C. Fuchs (2) a donné une description géologique des environs de Merau, accompagnée d'une carte géologique avec courbes de niveau à l'échelle de $\frac{1}{36.000}$. Les formations que distingue l'auteur sont le *gneiss phylliteux*, le *porphyre quartzifère*, *le dyas* (paraissant représenté par des conglomérats et des tufs), le *trias inférieur*, le *diluvium* et les *alluvions*.

(1) *Zeit.*, d. d. g. G., 1875, 623.
(2) *Neues Jahrb.*, 1875, 812.

SCHEMNITZ. — M. Judd (1) a étudié le district éruptif de Schemnitz. Il est arrivé à cette conclusion que les roches de ce district précédemment désignées sous les noms de *syénite*, de *grünstein* et de *trachyte*, étaient toutes de composition semblable et de même âge et que les différences qu'elles présentent tiennent aux conditions physiques dans lesquelles leur consolidation s'est opérée.

En outre, les masses métamorphiques qui entourent les centres d'éruption ne sont pas, comme on l'a cru, des sédiments primaires, mais seulement des dépôts *triasiques* ayant subi un métamorphisme local ou de contact.

DALMATIE. — *L'abaissement lent et continu* de la côte de Dalmatie est confirmé par une nombreuse série de faits qui prouvent la tendance qu'a la mer à s'avancer de plus en plus dans les terres, à tel point que les environs de Pola, par exemple, si riches au temps des Romains, deviennent de plus en plus marécageux, malsains et dépeuplés.

Dans un grand nombre de points des côtes de la Dalmatie et encore plus au sud, sur les côtes de l'Albanie, on trouve de nombreuses ruines ensevelies dans les sables et au-dessous du niveau actuel de la mer.

Les *tremblements de terre* ne sont pas rares sur ces côtes; ils ont même détruit Durazzo en Albanie, pendant l'année 342, Trieste en l'an 1000, Zeug en 1511 et en 1648 et Raguse en 1667 (2).

ITALIE.

CHABERTON. — M. Michelotti (3) a découvert au mont Chaberton, dans la série des roches vertes ou *formation serpentineuse*, un calcaire dolomitique fossilifère, contenant les genres Syringopora, Halysites, Favosites, Actinocrinus, Lithospongia, c'est-à-dire des formes qui rappellent le *silurien* supérieur ou le *dévonien* inférieur.

M. Gastaldi, se fondant sur ce que ce calcaire repose sur les serpentines, les euphotides et les variolites de la région, pense que la zone des roches vertes doit toujours être regardée comme antépaléozoïque.

---

(1) *Geol. Society*, 26 avril 1876.
(2) *R. Comitato geol. d'Italia*, 1874, n° 2. (Extrait par M. A. Caillaux.)
(3) *Comitato geol. d'Italia*, 1875, 346.

CARRARE. — M. de Stéfani (1) a annoncé la découverte de calcaires fossilifères supportant, en concordance de stratification, les marbres de Carraro, dont la position géologique a été si controversée (2). Ces calcaires fossilifères contiennent les genres Cerithium, Turbo, Rissoa, Chemnitzia, ainsi que des débris de crinoïdes. M. Meneghini considère ces fossiles comme *triasiques*. Mais M. Coquand estime qu'ils peuvent être tout aussi bien *carbonifères*.

ITALIE CENTRALE. — M. Ponzi a publié, pendant ces dernières années, divers travaux relatifs à l'Ialie centrale. Nous citerons particulièrement : une étude sur le *delta du Tibre* (3) ; une étude sur les *volcans du Latium*, accompagnée d'une carte géologique (4); enfin une description des terrains *pliocène* et *postpliocène* de cette même région (5). On trouvera notamment, dans ce dernier ouvrage, la liste des divers fossiles qui ont été observés dans ces terrains, dont un grand nombre appartient à des espèces nouvelles.

FRIOUL. — M. Taramelli (6) a publié le panorama géologique du Frioul, vu du château de Moruzzo, situé à l'altitude de 246 mètres et au cœur du pays; par des moyens nouveaux, il est parvenu à mettre en relief les divers terrains dont les principaux sont par ordre d'ancienneté : les formations *dolomitique*, *jurassique*, et *crétacée*, *éocène* (calcaire marneux), *miocène* (molasse), *pliocène*, *glaciaire* (moraines et alluvions des terrasses), enfin les *alluvions postglaciaires*.

Tous ces terrains ont été représentés, par l'auteur, au moyen de couleurs et de signes conventionnels qui permettent de les distinguer facilement.

MALTE.

M. C. W. C. Fuchs (7), qui s'est occupé de l'âge des couches *tertiaires* de Malte, a été conduit à les diviser en deux groupes : l'un correspond à l'horizon du calcaire de la Leitha, près de Vienne, et l'autre à cette subdivision de la formation tertiaire que représen-

(1) *Geol. mag.*, 1876,382.
(2) *Revue de géologie.*
(3) *Studj sulla geografia dell' Italia*, Rome, 1875.
(4) *Atti dell' Academia dei Lincei*, série II. t. II. 1875.
(5) *Atti dell XI°. Congresso, etc.*, Roma, 1875.
(6) *R. Comitato geolog. d'Italia*, 1872, 365. (Extrait par M. Caillaux.)
(7) *R. Comitato geolog. d'Italia*, 1874, 11. (Extrait par M. A. Caillaux.)

tent les couches de Schio, près de Vicence et du mont Titano près de San Marin.

Ce dernier horizon correspond au *Bormidien* de M. de Sismonucoda et on peut le considérer comme l'équivalent des couches de Bazas ou de Mérignac, de la plus ancienne molasse marine (oligocène) de la Suisse et de la Bavière, des grès à pectoncles, des géologues hongrois et probablement aussi des couches de Sotzka (Aquitanien de M. Mayer).

Ces deux groupes, parfaitement concordants, sont paléontologiquement répartis d'une manière distincte; ils ne possèdent que peu de fossiles communs; les grandes espèces de Pecten et de Clypeaster se trouvent exclusivement dans la partie supérieure; tandis que les grands orbitoïdes et les Operculines, comme les deux petites espèces de Pecten (P. Haueri et P. deletus), sont entièrement spéciales aux couches inférieures.

AFRIQUE.

ALGÉRIE.

Chotts. — Les Chotts de la province de Constantine ont été explorés en 1875 par une mission commandée par M. le capitaine Roudaire, et de laquelle M. H. Le Chatelier (1) faisait partie comme ingénieur des mines.

D'après M. H. Le Chatelier, une mer intérieure, communiquant avec la Méditerranée, n'existait pas dans la région des Chotts depuis l'époque actuelle. Le sel qu'on trouve dans cette région n'a pas la composition de celui que donnerait l'évaporation de l'eau de mer. D'ailleurs, en Algérie, des Chotts se rencontrent dans les trois provinces et, près de Batna, il y a du sel par une altitude de 1.200 mètres; cette mer, si elle eût existé, devrait donc avoir été très-étendue et il n'est pas admissible que son fond ait pu se relever à une pareille hauteur, depuis les temps historiques ou depuis la présence de l'homme. Le cardium, qu'on a regardé comme une preuve de l'existence de cette mer intérieure, n'est pas le Cardium edule vivant maintenant dans la Méditerranée; il se trouve dans des couches régulièrement stratifiées qui, dans la province d'Oran, s'élèvent jusqu'à des altitudes de 300 mètres.

(1) Rapport manuscrit présenté à M. le ministre des travaux publics par M. H. Le Chatelier, membre de la mission chargée d'étudier le projet de créer une mer intérieure en Algérie, 1876.

On peut donc dire qu'il n'existe pas de preuves géologiques d'une ancienne mer Saharienne. Cette conclusion est du reste celle à laquelle étaient arrivés déjà MM. Pomel, Ludovic Ville, Vatonne et d'autres explorateurs du Sahara.

M. H. Le Chatelier a cherché par des considérations théoriques à rendre compte des faits observés dans les Chotts. La nappe d'eau souterraine qu'on y rencontre est particulièrement abondante suivant certains lits souterrains auxquels les Arabes donnent même des noms, comme aux rivières coulant à la surface. Il est probable que, suivant ces lits souterrains, elle est alimentée par une nappe artésienne qui se fait naturellement jour à travers des dislocations ; on est d'autant plus autorisé à le croire, que certains puits sont creusés au fond de fractures encore reconnaissables.

Suivant M. H. Le Chatelier, les Chotts doivent leur existence à des dépressions de la surface du sol qui sont assez profondes pour atteindre la nappe d'eau. Ces dépressions sont remplies par des boues très-fluides et par de l'eau qui, en s'évaporant, laisse une croûte de sel ; elles ont été creusées après le dépôt des terrains environnants ; car on y observe des îlots (*gours*), analogues aux témoins laissés par les terrassiers; ces gours sont stratifiés et l'on y retrouve la couche à cardium, en sorte que leur sommet, dont l'altitude est d'ailleurs à peu près constante, indique l'ancien niveau du sol. M. H. Le Chatelier admet, en définitive, que les Chotts sont dus à des fractures du sol qui ont engendré des dépressions dans lesquelles les eaux se sont précipitées, entraînant avec elles une partie des terrains traversés. Ils sont postérieurs au dépôt du cardium qui vivait dans des lacs d'eau saumâtre remplissant les cuvettes du terrain quaternaire saharien ; en sorte que leur existence est relativement assez moderne.

M. H. Le Chatelier observe encore que dans la région des Chotts, de la province de Constantine, les dunes forment des chaînes dont la direction est généralement N. 16° E. ou bien N. 30° O.; ces chaînes de dunes, alignées et parallèles, peuvent être attribuées à des fractures du sol, qui sont orientées suivant leurs directions, et qui présentent des reliefs favorables à l'amoncellement des sables mouvants.

D'après les considérations précédentes, une même hypothèse rendrait compte de l'origine des *Chotts*, de celle de la nappe d'eau et des *rivières souterraines*, ainsi que des *chaînes de dunes* (1).

---

(1) Voir, sur ces questions, *Revue de géologie*, III, 21, 40, 362, et X, 179.

NUBIE.

M. Coquand (1) a rappelé que M. Delanoüe avait recueilli, en Nubie, à la base du *grès rouge nubien*, dont l'âge a été si controversé, un exemplaire d'Ostrea Verneuili avec ses deux valves. Ce fossile existant à la base du garumnien de M. Leymerie, M. Coquand pense que le grès rouge de Nubie pourrait bien être l'équivalent du puissant étage *rubien* des environs d'Aix et de Vitrolles.

ASIE.

ANATOLIE.

Une carte manuscrite de l'Anatolie, envoyée à l'Exposition de géographie de Paris par M. le Dr E. Weiss, ingénieur en chef des mines de l'empire ottoman, indique la position des principaux gîtes des substances minérales qui existent en ce pays. Outre les mines métalliques, elle fait connaître les carrières actuelles et anciennes.

Les minerais de l'Anatolie appartiennent au plomb argentifère, au cuivre, au fer, au manganèse, à l'antimoine, au fer chromé; il y a aussi de la houille, du lignite, du charbon bitumineux, des sources de bitume et de pétrole. Enfin, il existe encore en Anatolie des gisements de soufre, de réalgar et d'orpiment, d'émeri, d'alun, d'écume de mer et de borax. L'échelle de cette carte est le $\frac{1}{1.000.000}$.

OCÉANIE.

SUMATRA.

MM. Brady (2) et Rupert Jones ont reconnu, parmi les espèces fossiles *tertiaires* recueillies sur la côte occidentale de Sumatra par M. Verbeek, les foraminifères suivants : Operculina granulosa, Nummulina variolaria, N. Ramondi, Orbitoïdes papyracea, O. dispansa, O. Sumatrensis.

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], IV, 159.
(2) *Geol. mag.*, 1875, 532.

VICTORIA.

L'exploration géologique de la province de Victoria se poursuit sous la direction de M. Brough Smyth (1). MM. Etheridge junior et Murray ont spécialement étudié le district aurifère de Durham, où les *alluvions aurifères* de la période pliocène recouvrent des schistes siluriens, dans lesquels M. Mac Coy a reconnu les graptolites ordinaires du silurien d'Europe. M. Von Mueller a décrit des végétaux fossiles intéressants, trouvés vers la base des alluvions aurifères. Il paraît y avoir eu trois périodes dans la végétation *tertiaire* de Victoria : la première a été caractérisée par la famille des myrtacées; la seconde avait un caractère tropical ou subtropical, et dans la troisième, les laurinées dominaient.

NOUVELLE-CALÉDONIE.

La géologie de la Nouvelle-Calédonie, étudiée déjà par M. J. Garnier, a été l'objet d'un mémoire de M. Heurteau (2). L'auteur distingue trois régions bien distinctes : 1° la grande *formation serpentineuse* qui forme, pour ainsi dire, l'ossature de la contrée; 2° les *terrains cristallins* ainsi que les *terrains anciens* du nord et du nord-est de l'île; 3° les *mélaphyres*, les couches *métamorphiques* et les lambeaux de terrains sédimentaires plus récents de la côte ouest et sud-ouest.

M. Heurteau signale la grande analogie de la Nouvelle-Calédonie avec la Nouvelle-Zélande. Les gisements de cuivre et d'or de la vallée du Diahot sont associés à des éruptions de serpentine et de roches de glaucophane. Les filons de cuivre orientés N. 25° E. comprennent des assises ferrugineuses et des amas de cuivre pyriteux disposés en chapelets dans la stratification des schistes.

Le quartz aurifère est orienté N.-N.-E.; mais les zones métallifères y forment des colonnes inclinées suivant l'intersection de ces filons avec des croiseurs orientés au N.-N.-O.

Des minerais de fer, de chrome et de nickel sont associés à la formation serpentineuse.

---

(1) *Report of Progress*–*Geol. mag.*, 1875, 562.
(2) *Annales des mines* [7], IX, 232, 375.

AMÉRIQUE.

LAC SUPÉRIEUR.

En examinant une collection de roches des *grès cuprifères* du Lac Supérieur, M. Geinitz (1) a été frappé de leur extrême analogie avec le terrain de grès rouge inférieur et moyen de l'Allemagne, dans lequel la présence du cuivre a été plus d'une fois constatée. Observant d'ailleurs que la formation du Lac Supérieur est sous la même latitude que l'île du Prince-Édouard, où MM. Dawson et Harrington ont trouvé le Walchia piniformis du terrain permien, M. Geinitz ne doute pas qu'on ne trouve bientôt des preuves positives que cette formation, jusqu'ici réputée *silurienne*, doive être rattachée au *dyas* ou *permien*.

Cependant M. Brooks (2) regarde la série cuprifère du Lac Supérieur comme une série distincte et indépendante, qui sépare le terrain *silurien* de l'étage *huronien*, et, en raison de l'importance de la péninsule de Keweenaw dans l'orographie de la région, il propose pour cette série le nom de *Keweenavien*.

ÉTATS-UNIS.

M. Cope (3) a décrit les vertébrés trouvés dans les formations *crétacées* de l'ouest des États-Unis. A cette occasion, il a dressé un tableau des vertébrés qu'on a rencontrés jusqu'à présent dans le crétacé de l'Amérique du Nord. Les espèces de reptiles sont au nombre de 147, comprenant : 18 dinosauriens, 4 ptérosauriens, 14 crocodiliens, 15 sauroptérygiens, 48 tortues, 50 pythonomorphes (tribu du mosasaurus); parmi ceux de cette dernière division, 15 espèces se trouvent dans le grès vert de New-Jersey, 7 dans le calcaire pourri d'Alabama, 26 dans le Kansas, 4 seulement sont connues en Europe.

ANTILLES.

M. Cotteau (4) a décrit les échinides fossiles des possessions suédoises aux Antilles, les îles Saint-Barthélemy et Anguilla. Les

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 440.
(2) *Americ. Journ.* (3), XI, 206.
(3) *Report of the U. S. geol. Survey of territories*. 1875.
(4) *Académie des sciences de Suède*, Stockholm, 1875.

espèces décrites sont au nombre de trente-trois, dont dix-huit *éocènes*, seize *miocènes* et une seule commune aux deux terrains; les espèces miocènes présentent de grandes affinités avec celles de l'île de Malte. Si donc, à l'époque miocène, la Méditerranée ne communiquait pas avec les Antilles, du moins la vie s'y développait sous des influences à peu près identiques.

CHILI.

MM. Mallard et Fuchs, ingénieurs des mines, ont rapporté du Chili des plantes fossiles provenant d'un gisement de charbon situé à la Ternera, dans le district d'Atakama, et appartenant à l'époque jurassique. M. Zeiller (1) a étudié ces plantes et y a reconnu les Jeanpaulia Münsteriana, Angiopteridium Münsteri, Pecopteris Fuchsi, Podozamites distans, Palissya Brauni. Ces plantes appartiennent à la flore de l'étage *rhétien* et à celle du *lias inférieur*. C'est, comme on sait, l'âge des charbons de Fünfkirchen et de Steyerdorf, et des gisements du même genre ont également été découverts en Chine.

GÉOLOGIE AGRONOMIQUE.

Chalosse. — D'après MM. Eugène Jacquot et Raulin (2), on fait usage sur une grande échelle, aux environs de Mont-de-Marsan, des *sables ferrugineux et calcaires* de la molasse à Ostrea crassissima.

Dans la Chalosse occidentale, on emploie également, pour l'amendement des terres, les *argiles bigarrées* qui accompagnent les ophites, bien qu'elles ne soient que très-exceptionnellement calcaires.

Aurès. — Entre le pied sud des monts Aurès, qui est à la cote 100 mètres, et le chott Mel Rir, à la cote —25 mètres, s'étend une grande plaine d'alluvions qui répond assez bien à l'idée qu'on peut se faire du désert. D'après M. H. Le Chatelier, ces alluvions sont formées par les torrents qui, pendant la saison des pluies, descendent des flancs de l'Aurès et vont inonder la plaine chaque année. Elles ont une épaisseur de plusieurs mètres et elles contiennent, à divers niveaux, les coquilles terrestres qui vivent en-

(1) *Bull. Soc. géol.* [3], III, 572.
(2) *Statistique géologique et agronomique du département des Landes*, Bordeaux, 1874, 254.

core dans la montagne. Elles se composent d'un mélange de sable, d'argile, de calcaire et de gypse, avec des matières organiques. Toutefois, l'absence d'eau donne seule à cette plaine d'alluvions l'aspect du désert; car, pendant la saison des pluies, les Arabes l'ensemencent et en retirent ensuite d'abondantes récoltes.

Influence de l'alios ferrugineux sur le développement des arbres.

Les sols sableux ayant un sous-sol imperméable formé par de l'*alios* sont peu favorables à la végétation forestière; car les racines des arbres ne peuvent pas descendre à une profondeur suffisante et, de plus, elles rencontrent la nappe d'eau souterraine existant à la surface de l'*alios*. Il est facile de le constater dans les landes de Gascogne qui n'ont pas été assainies.

Lorsque l'*alios* est ferrugineux, c'est-à-dire lorsque, indépendamment des matières organiques, il est cimenté par de la limonite, il exerce encore une influence beaucoup plus défavorable sur le développement des arbres. Comme l'observe M. Senft (1), ce résultat doit être attribué à ce que les eaux s'infiltrant dans le sol sont alors ferrugineuses : étant absorbées par les racines, elles rencontrent l'oxygène dégagé de l'intérieur des plantes qui oxyde le fer, dissous à l'état de protoxyde, et le change en sesquioxyde; ce dernier étant insoluble se dépose bientôt en telle abondance que les cellules sont gênées dans leurs fonctions. En outre, il peut aussi se déposer de la limonite autour des racines qui sont alors étouffées. On conçoit donc pourquoi les arbres croissant dans les landes à sous-sol d'*alios* ferrugineux sont très-rabougris et quelquefois contournés d'une manière extrêmement bizarre; c'est en particulier ce qui se voit, d'une façon très-nette, dans la lande sableuse de Lunebourg.

Accumulation d'humus par les forêts.

On sait que les forêts cultivées sur un sol y produisent de l'humus provenant de la décomposition de leurs dépouilles; par suite, elles forment de la terre végétale et elles améliorent celle qui existe déjà. Il est facile de le reconnaître sur tous les sols, même les plus ingrats, comme le sable quartzeux des Landes ou la craie blanche de la Champagne. MM. J. Clavé et Debray (2) ont recherché de plus quelle est l'influence de l'âge et du mode de traitement des forêts lorsqu'elles se trouvent sur un même sol, celui

---

(1) *Die Humus-Marsh Torf und Limonitbildrungen*, 215.
(2) *Annales forestières et métallurgiques*, n° 4, avril 1859, 125.

des sables de Fontainebleau. Divers échantillons du sol sableux de la forêt de Fontainebleau ont été pris à la surface et à $0^m,30$ de profondeur : 1° pour des futaies ayant 150 à 400 ans, 2° pour des taillis ayant 6 à 12 ans. Voici les résultats moyens de leur analyse :

		Humus.	Sable quartzeux.	Argile.
Futaie. . .	Sol.	5,33	95,0	5,0
	Sous-sol.	2,63	96,0	4,0
Taillis. . .	Sol.	3,62	95,6	4,4
	Sous-sol.	2,53	96,1	3,6

On peut constater que le traitement en futaie améliore plus le sol que le traitement en taillis, puisque la richesse en humus de la terre végétale devient plus grande. Toutefois, l'enrichissement qui est dû spécialement aux feuilles et aux racines, a lieu surtout près de la surface; car, à la profondeur de $0^m,30$ la proportion d'humus reste à peu près la même dans les deux modes de traitement.

Accumulation de substances minérales par les végétaux adhérents à diverses roches.

Une mousse, développée sur le granite du canton d'Annonay, a a été brûlée, et ses cendres, dont la proportion était de 7,27 p. 100, ont été ensuite analysées par M. P. de Gasparin (1) :

SiO^2	Fe^2O^3	KO	CaO	MgO	PhO^5
61,86	12,03	6,16	3,32	3,15	3,65

Ces cendres ont une composition très-différente de celles du granite; il est surtout remarquable qu'elles contiennent autant de chaux, de magnésie, de fer et d'acide phosphorique.

M. P. de Gasparin (2) a fait encore l'analyse d'une terre végétale de Provence A qui résulte de l'altération produite par un lichen sur un calcaire de la molasse; il a déterminé également la composition des cendres B de ce lichen :

	SiO^2	CaO	MgO	KO	Fe^2O^3	PhO^5	Matières organiques.	Eau de combinaison et CO^2.	Somme.
A	31,62	34,45	0,31	0,03	2,03	0,06	3,74	27,76	100,00
B	32,39	31,95	0,95	0,86	2,78	1,70	»	»	70,65

(1) *Journal de l'agriculture*, t. IV, 1876, 211.
(2) *Société centrale d'agriculture*, 1875.

La comparaison de ces deux analyses montre que les proportions de chaux et de silice sont à peu près les mêmes dans la terre végétale et dans les cendres du lichen, ce qui confirme bien l'origine attribuée à cette terre végétale. Comme le fait observer M de Gasparin, c'est un résultat d'autant plus remarquable que la molasse aux dépens de laquelle se développe ce lichen contient environ 51 pour 100 de chaux et seulement 9 pour 100 de silice et de silicates.

Les végétaux qui se développent spontanément sur un sol doivent naturellement exercer une grande influence sur la composition de la terre végétale, car ils accumulent certaines substances minérales qu'ils laissent avec leurs débris à la surface du sol; ils opèrent ainsi un déplacement de ces substances. Par ce motif, il serait intéressant de généraliser le travail de M. de Gasparin et de rechercher quelle est la composition chimique des cendres fournies par les végétaux propres aux différentes roches. Les analyses faites jusqu'à présent montrent, du reste, que la terre végétale résultant des détritus accumulés de ces végétaux présente une composition très-différente de celle des roches à la surface desquelles ils se sont développés.

Écobuage.

CIRENCESTER. — M. Völcker (1) a étudié la modification chimique éprouvée par une terre végétale soumise à l'écobuage, en attaquant comparativement par l'acide chlorhydrique, une terre argileuse de Cirencester à l'état normal (I) et après qu'elle avait été brûlée (II) :

	HO	Substances organiques et eau d'hydratation	Fe^2O^3 Al^2O^3	CaO,CO2	CaO,SO3	MgO,CO2	PhO⁵	KO	NaO	NaCl	MgO	Résidu insoluble.	Perte.
I	5,97	13,27	12,95	7,58	0,42	1,40	traces	0,51	0,12	»	»	57,09	0,69
II	1,18	3,32	18,42	8,83	1,15	»	0,71	1,08	»	1,03	1,76	62,52	-

On voit que dans la terre écobuée il y a moins d'eau, mais aussi moins de matières organiques : de plus, la proportion des substances qui sont solubles dans les acides devient plus grande ; c'est notamment ce qui a lieu pour la chaux, la magnésie, la soude, la potasse et même pour l'acide phosphorique. Ces résultats con-

(1) A. Orth : *Geognostische Durchforschung des Schlesischen Schwemmlandes*, Berlin, p. 281.

tribuent à rendre compte des avantages que présente la pratique agricole de l'écobuage.

Cartes agronomiques.

TARN-ET-GARONNE. — M. Rey-Lescure a publié une carte agronomique du département de Tarn-et-Garonne, qui est à l'échelle du 320.000[e].

Dans cette carte agronomique, M. Rey Lescure distingue quinze régions agronomiques basées surtout sur la constitution géologique ou lithologique du sol.

Ainsi, les principales divisions sont établies sur la connaissance des divers terrains. Le granite et le gneiss, le trias, le lias, le jurassique, forment autant de régions agronomiques distinctes. L'éocène et le miocène en forment quatre, suivant que le sol est plus ou moins argileux. Enfin, les terrains de transport, très-développés dans le département de Tarn-et-Garonne, et composés de limons, de sables, de graviers, sont divisés encore en sept autres régions.

Quant à la répartition des cultures, on peut remarquer que les vignes sont cultivées sur les sols caillouteux aussi bien que sur les sols silicéo-argileux, dans les plaines aussi bien que sur les terrasses ou même sur les plateaux. Les fourrages et le maïs occupent les alluvions riches et les sols argilo-calcaires. Les blés viennent partout dans le département. Les bœufs prospèrent sur les marnes liasiques, les alluvions, les coteaux argilo-calcaires. Les troupeaux de moutons sont surtout nourris dans la région des *Causses*.

Des signes spéciaux indiquent sur cette carte agronomique de Tarn-et-Garonne les gîtes principaux des matières minérales qui sont exploitées pour des usages agricoles; citons notamment la chaux phosphatée tertiaire, qui forme dans les calcaires oxfordiens et coralliens des amas nombreux d'une grande importance; le calcaire de la base du lias qui fournit de la chaux grasse, très-employée pour améliorer les sols granitiques et triasiques; les gypses tertiaires de Varen et de Vansouville; les marnes miocènes, très-utilisées en Gascogne pour marner les sols silicéo-argileux.

CINQUIÈME PARTIE.

GÉOLOGIE DYNAMIQUE.

MODIFICATIONS DES ROCHES (*).

Nous résumerons maintenant les travaux qui sont relatifs aux diverses modifications des roches et au métamorphisme, ce mot étant pris dans son acception la plus étendue.

Expériences sur la schistosité des roches.

Des expériences synthétiques sur la schistosité des roches ont été faites, au Conservatoire des arts et métiers, par M. Daubrée (1), à l'aide d'une presse hydraulique puissante qui avait servi aux expériences de M. Tresca sur l'écoulement des solides. M. Daubrée a opéré sur de l'argile qu'il forçait à s'écouler dans des circonstances diverses, tantôt mélangée de sable ou d'argile, tantôt pure. Dans tous les cas, ces argiles ont pris une texture feuilletée très-prononcée, de manière à rappeler des roches feuilletées appartenant à divers terrains.

Pour compléter la démonstration expérimentale de la schistosité, M. Daubrée a reproduit les déformations de fossiles qui paraissent corrélatives de ce premier phénomène, et notamment les bélemnites tronçonnées bien connues dans le terrain jurassique de diverses parties des Alpes.

Dans les diverses expériences dont il s'agit, on fait naître un feuilleté suivant le sens même *de la pression et du mouvement*, et cela, dans des bandes de plusieurs mètres de longueur. Il suffit d'un trajet très-court, de quelques centimètres à peine, pour que les particules s'alignent et qu'un feuilleté très-régulier se manifeste.

C'est à tort que certains géologues ont voulu distinguer d'une part le *clivage*, d'autre part l'alignement des cristaux connus

(*) Cette partie a été traitée par M. Delesse.

(1) *Expériences sur la schistosité des roches et sur les déformations des fossiles corrélatives de ce phénomène; conséquences géologiques.* — *Comptes rendus*, t. 82, p. 710 et 798.

sous le nom de *foliation* ou de *lamination*: car ces deux caractères remarquables se produisent, par l'expérience, dans des conditions identiques et simultanément; on peut les comprendre sous le nom unique de *schistosité*.

Après avoir constaté expérimentalement avec quelle facilité se produisent le clivage et la foliation, dans des masses imparfaitement solides, qui s'écoulent sous de fortes pressions, on ne peut plus s'étonner de la diversité minéralogique des roches schisteuses dans l'écorce terrestre, non plus que de l'abondance avec laquelle plusieurs de ces roches s'y présentent.

On voit, en outre, qu'on n'est pas en droit de considérer le feuilleté des roches cristallines, telles que le gneiss, comme un vestige de stratification et d'assimiler leur feuillets à des couches minces.

La cause de la schistosité paraissant reconnue, on peut, dit M. Daubrée, retourner la question et, dans certains cas, se servir de cette empreinte significative d'actions mécaniques pour discerner la nature de certains mouvements subis par l'écorce terrestre. C'est, en particulier, le cas des massifs centraux des chaînes de montagnes où l'on a signalé des traits de régularité géométrique, et aussi de la structure dite *en éventail*, qui est bien connue au mont Blanc.

Des expériences spéciales de M. Daubrée, faites d'abord sur de l'argile, puis sur du plomb, peuvent expliquer les caractères principaux de cette structure.

Production de minéraux.

Silice.

D'après M. Chrustchoff (1), lorsqu'on chauffe, dans un tube fermé, une dissolution de silice dans l'eau, obtenue par dialyse, il se forme à 150° une masse non cristalline qui est l'hydrate de silice SiO^2, HO; à 250°, on a de la silice cristallisée et à 350° du quartz en prismes hexagonaux.

Comme le quartz s'est formé souvent dans des terrains stratifiés, qui sont à l'état normal, il est d'ailleurs visible que, pour se produire, il n'exige aucunement des températures aussi élevées.

Pseudomorphisme.

Suivant M. F. Wibel (2), le quartz fibreux du cap de Bonne-Es-

(1) *Jahresbericht der Chemie für* 1873; 243.
(2) *Neues Jahrbuch*, 1873, 287.

pérance proviendrait d'une pseudomorphose de krokidolithe. Il nous paraît au contraire qu'il y a simplement association de deux minéraux fibreux ; c'est, en tout cas, ce qui résulte clairement du gisement de Wackenback, dans les Vosges, qui montre le quartz et la krokidolite en petits filons qui serpentent dans la Minette (1).

Argent en chlorure.

Dans le Cerro Negro, République Argentine, M. Stelzner (2) a observé de l'argent natif qui est pseudomorphosé en chlorure d'argent.

Péridot en serpentine.

Des analyses comparatives du péridot (I) bien connu de Snarum, et de la Serpentine (II) qui l'entoure et paraît formée à ses dépens, ont été faites par M. Helland (3).

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CrO	MgO	Perte au feu.	Somme.
I	3,22	41,32	0,28	2,39	0,05	54,69	0,20	98,93
II	2,53	42,72	0,06	2,25	trace	42,52	13,39	100,94

Si l'on admet que la Serpentine résulte réellement d'une décomposition du péridot, qui aurait eu lieu sans changement de volume, on obtient, en grammes, les poids suivants pour 1 centimètre cube de ces deux substances :

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CrO	MgO	HO	Somme
Péridot	1,345	0,009	0,078	0,002	1,780	0,006	gr 3,22
Serpentine	1,071	0,002	0,056	»	1,065	0,336	2 [illegible]
Augmentation ou diminuon	— 0,274	— 0,007	— 0,022	— 0,002	— 0,715	+ 0,330	—

Minéraux divers en serpentine.

TILLY FOSTER. — A la mine de Tilly Foster, dans l'État de New-York, M. J. D. Dana a signalé un gisement très-remarquable de fer oxydulé magnétique, qui est enclavé dans un gneiss syénitique et présente des pseudomorphoses de minéraux variés en serpentine, notamment la chondrodite, l'enstatite, l'hornblende, la biotite, la dolomie, la brucite.

Orthose en chaux carbonatée.

BOTZEN. — Près de Botzen, dans les Alpes, M. Gümbel (4) a

(1) Delesse : *Ann. des mines* (5), X, 317.
(2) *Jahresbericht der Chemie*, 1873, 1265.
(3) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*, Al. Naumann ; 1873, 1203.
(4) *Sitzungsberichte der K. B. Akademie der Wissenschaften* ; München, 1876, 34.

observé des conglomérats qui se trouvent ordinairement à la surface du porphyre rouge et qui sont esseatiellement composés de ses débris. Le feldspath orthose du porphyre, dans le conglomérat, a souvent éprouvé un pseudomorphisme remarquable, comme on peut s'en assurer par les analyses faites par M. Schwager sur deux échantillons d'orthose provenant du Talferthal près Botzen.

I. Orthose rouge de chair et normal, qui a été extrait du porphyre.

II. Orthose décomposé, traversé par des veines de chaux carbonatée et ayant un aspect étrange.

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	$CaO.CO^2$	CaO	MgO	NaO	KO	Perte au feu.	Somme.
I	65,77	17,71	0,63	»	0,26	0,13	2,88	12,51	0,53	100,45
II	44,99	13,55	1,52	29,20	»	0,25	1,21	7,70	2,15	100,60

Comme le remarque M. Gümbel, il est assez extraordinaire qu'un minéral aussi peu soluble que l'orthose soit pseudomorphosé par un minéral aussi soluble que la chaux carbonatée.

Décomposition.

Latérite.

La latérite, qui a d'abord été observée dans l'Inde, tire son nom de la couleur rouge de brique (*later*) qu'elle présente. Comme l'a observé M. de Richthofen (1), elle est celluleuse et montre un réseau de mailles arrondies dont les interstices sont remplis par une substance argileuse. Cette roche occupe de grandes étendues dans l'Inde, et on la retrouve au delà dans la Birmanie ainsi que dans l'île de Ceylan; au Brésil, elle forme souvent le sol. M. de Richthofen remarque qu'elle est limitée aux régions tropicales. Elle paraît résulter d'une décomposition profonde des roches sous-jacentes, aux dépens desquelles elle s'est formée. On a constaté que cette décomposition est très-active dans les régions tropicales; cela doit être attribué aux pluies qui sont extrêmement abondantes et aussi à la végétation qui, grâce au climat, devient luxuriante; il en résulte que les eaux souterraines sont elles-mêmes abondantes, relativement chaudes, très-chargées d'acide carbonique et d'acides végétaux; par suite elles attaquent plus fortement les roches dans lesquelles elles s'infiltrent. On voit du reste la latérite passer au granite, au basalte, au trapp, au gneiss, aux schistes cristallins, au schiste argileux, au grès argileux, suivant qu'elle repose sur l'une ou l'autre de ces roches.

(1) Neumayer: *Anleitung zu Wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen*. etc.; 1875.

M. de Richthofen a constaté que la latérite se trouve fréquemment vers le milieu et vers le sud de la Chine, mais qu'elle y est recouverte par des alluvions et par des dépôts modernes ; d'après cela il est porté à croire que la Chine avait un climat tropical, antérieurement à l'époque actuelle.

Il ajoute que la latérite, remaniée par les eaux, et déposée ensuite dans des estuaires ou dans des mers peu profondes, pourrait servir à expliquer la formation encore assez problématique deux grès rouges argileux, et indiquerait, à l'époque de ces grès, un climat également tropical.

Porphyre.

SCHATZLAR. — M. R. Hoffmann (1) a fait des analyses comparatives du porphyre de Schatzlar, en Bohême, en opérant sur deux échantillons dont l'un A était à l'état normal et l'autre A′ un peu décomposé :

	PARTIE SOLUBLE DANS HCl.						PARTIE INSOLUBLE.				Somme.
	CO^2	Al^2O^3, Fe^2O^3	CaO	MgO	KO	NaO	SiO^2	Al^2O^3	KO	NaO	
A	1,16	13,27	2,98	0,51	0,25	0,11	64,81	12,34	4,20	»	99,63
A′	2,42	13,86	2,96	2,38	0,44	2,19	56,44	15,60	1,24	2,44	99,97

On voit que la proportion des alcalis et de la magnésie, qui se laisse dissoudre dans l'acide chlorhydrique, devient plus grande dans le porphyre décomposé.

STEIN.—M. F. Ullik (2) a fait de même l'analyse d'un porphyre gris verdâtre de Stein (Carniole), lorsqu'il est à l'état normal A, et lorsqu'il est décomposé A′ :

	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	76,91	14,56	1,15	0,87	0,44	5,21	0,75	r	99,89 (*)
A′	63,58	19,98	3,86	0,91	0,87	6,38	1,28	4,24	101,10

(*) La roche normale contenait 2,8 p. 100 de pyrite de fer, qui en a été séparée.

Ce porphyre de Stein (Carniole) est traversé par des fissures qui sont remplies par un hydrosilicate d'alumine ayant la composition du kaolin $2SiO^2$, Al^2O^3, $2HO$.

(1) A. Orth : *Geognostische Durchforschung des schlesischen Schwemmlandes.* — Berlin, 206.
(2) Tschermak, *min. Mitth.*, 1873, 197. — *Jahresbericht der Chemie*, 1873 1175.

Altération de sables calcaires et glauconieux par les eaux pluviales.

M. Vanden Broeck (1) a entrepris de démontrer un fait remarqué en 1874, que la zone dite des « sables verts lækeniens sans fossiles », que l'on rencontre aux environs de Bruxelles, représente simplement l'altération des sables blancs fossilifères sous-jacents, par l'infiltration des eaux pluviales.

Cette altération ne se produit pas là où l'argile glauconifère existe, et forme sur les sables lækeniens une couverture imperméable; ainsi s'explique la différence que présentent, à l'égard des sables lækeniens, les deux rives de la Senne à Bruxelles.

Les dépôts normaux du bruxellien et du lækenien sont formés de sables calcarifères blanchâtres fossilifères. Au-dessus et les pénétrant sous forme de poches, se trouve ce sable quartzeux verdâtre, sans fossiles, que l'on croyait formé par des courants qui auraient dénudé les couches des sables blanchâtres.

D'après M. Vanden Broeck, l'eau chargée d'acide carbonique, en traversant les dépôts meubles du lækenien et du bruxellien, a dissous le calcaire qu'ils contenaient, ce qui explique l'absence de fossiles dans ces sables. Quant aux bancs de grès que l'on rencontre dans ces terrains, ils sont constitués par du sable qu'agglutine du calcaire; ils contiennent en outre de la glauconie. Au contact de l'humidité, le calcaire est dissous, la glauconie, en se décomposant, donne la limonite et à la place des bancs de grès, il reste dans les poches d'altération, ces guirlandes de sables rougeâtres ferrugineux. On avait constaté la présence de ces bandes rougeâtres dans les sables verts, sans avoir reconnu qu'elles formaient le prolongement à travers la zone altérée, des bancs de grès demeurés intacts.

La forme en guirlande serait due au tassement que la disparition du calcaire a dû produire dans les sables et à l'imprégnation des sédiments par les eaux. La disparition du calcaire expliquerait aussi la couleur verdâtre des sables, les grains quartzeux mélangés de glauconie altérée ayant été laissés à nu.

M. Vanden Broeck a de plus constaté, par des recherches récentes, que l'altération causée par les phénomènes météoriques s'étend à beaucoup d'autres dépôts crétacés, tertiaires et même quaternaires. D'un autre côté des géologues anglais viennent d'observer que les *unfossiliferous sands*, qui paraissent raviner le crag rouge fossilifère, sont constitués, non par un dépôt distinct,

---

(1) *Ann. Soc. géol. du Nord*, 1875, p. 174. — Lettre à M. Delesse, 10 janv. 1877.

comme on le croyait, mais par la partie supérieure altérée du dépôt coquillier.

C'est avec raison que M. Vanden Broeck signale spécialement ces faits à l'attention des géologues; car les roches présentent fréquemment, vers leur surface, des changements de couleur et de caractères, qui sont dus simplement à des phénomènes d'ablation et de décomposition analogues à ceux qu'il décrit.

Altération des roches feldspathiques par l'eau chargée d'acide carbonique.

M. Truchot (1) a fait des recherches relatives à l'action que l'eau chargée d'acide cerbonique, exerce sur différentes roches pulvérisées. Il a opéré sous la pression de 8 atmosphères et voici les résultats rapportés à un litre d'eau:

DÉSIGNATION DES ROCHES.	SUBSTANCES DISSOUTES.
	grammes.
Granite de Montaigut	0,080
— de Trézioux	0,090
Lave de Gravenoire	0,160
— de Volvic	0,175
Domite du Puy-de-Dôme	0,182
Scorie basaltique	0,205
Pouzzolane de Gravenoire	0,210
Trachyte du mont Dore	0,290

Dans ce tableau, les roches sont ordonnées d'après la proportion des substances dissoutes, et l'on voit que le granite est moins attaqué que les roches volcaniques et surtout beaucoup moins que le trachyte. Quoique ce dernier présente une composition élémentaire, voisine de celle du granite, comme sa silice n'est pas exclusivement à l'état de quartz et comme elle entre aussi dans une pâte non cristalline, on conçoit qu'elle se laisse attaquer plus facilement que dans le granite. Bien que les substances dissoutes consistent essentiellement en silice, M. Truchot a dosé aussi la chaux, la potasse et l'acide phosphorique; et, si l'on considère seulement la somme de ces trois substances, l'ordre des roches essayées deviendrait le suivant :

1. Domite. — 2. Granite de Trézioux.—3. Granite de Montaigut. — 4. Trachyte du mont Dore. — 5. Lave de Volvic. — 6. Lave de Gravenoire.— 7. Scorie basaltique.—8. Pouzzolane de Gravenoire.

(1) Dehérain : *Annales agronomiques*. 1876. *Revue de géologie*. XIII. 219.

Métamorphisme spécial ou de contact.

Infiltration de chaux phosphatée.

La chaux phosphatée étant soluble dans l'eau qui contient de l'acide carbonique, on conçoit qu'elle doive souvent être déplacée de ses gîtes originaires et disséminée dans les roches voisines. Diverses analyses de M. Yermolow ont bien mis ce fait en évidence. Il a constaté, en effet, qu'une marne crétacée du gouvernement de Grodno, renfermant une couche de phosphorite, n'avait pas de chaux phosphatée à sa partie supérieure, tandis qu'elle en contenait 0,5 à sa partie inférieure. Dans de la craie blanche, qui était immédiatement recouverte par une couche de phosphorite, il a trouvé 8,45 p. 100 de chaux phosphatée. A Spassk, dans le gouvernement de Tambow, M. Yermolow a reconnu qu'une couche de phosphorite crétacée ayant une richesse de 47 p. 100, a produit par infiltration, dans le sable meuble sur lequel elle repose, un grès friable, à ciment de chaux phosphatée, qui en contient 27,48 près de la couche, 21,68 plus bas et seulement 9,58 plus bas encore.

En résumé, les eaux souterraines qui renferment de l'acide carbonique peuvent facilement dissoudre la phosphorite, lorsqu'elle n'est pas comprise entre des couches complétement imperméables. Ces eaux descendant à l'intérieur de la terre, en vertu de la pesanteur, imprègnent alors de chaux phosphatée les couches sous-jacentes, et d'autant plus que ces dernières sont plus aisément perméables; elles pourront même les cimenter. On comprend donc que de la craie blanche, qui est très-poreuse, soit imprégnée par de la chaux phosphatée, et que du sable se change en un grès à ciment de phosphorite. A cause de la propriété absorbante de l'argile, les couches perméables qui sont argileuses auront une tendance spéciale à retenir la chaux phosphatée dissoute. La richesse en chaux phosphatée dans la roche infiltrée devra d'ailleurs diminuer à mesure qu'on descendra plus bas au-dessous du gîte de phosphorite.

Si des eaux minérales carbonatées viennent à rencontrer sur leur trajet des gîtes de phosphorite ou d'apatite, elles dissoudront une plus ou moins grande quantité de chaux phosphatée, qu'elles pourront ensuite transporter et disséminer, jusqu'à une grande distance, dans toutes les roches perméables à travers lesquelles elles pénètrent par infiltration.

Imprégnations produites par des filons de chaux phosphatée.

CACERES. — Si l'infiltration des eaux souterraines suffit pour disséminer la chaux phosphatée dans les roches voisines, il est facile de comprendre que des phénomènes de métamorphisme s'observeront surtout au contact de la chaux phosphatée, lorsqu'elle se sera déposée dans des filons. C'est particulièrement ce que MM. Egozcue y Cia et Mallada (1) ont constaté dans la province de Caceres, en Estramadure.

La chaux phosphatée s'y montre en filons bien caractérisés, qui sont en contact avec des granites, des schistes et des grès ou bien des calcaires.

Les granites encaissants ont fréquemment subi de profondes altérations; presque toujours ils ont pris l'état terreux et leur feldspath peut avoir une teinte vert clair: de plus ils ont été traversés par des veines argileuses rougeâtres.

Les schistes et les grès sont en général peu métamorphosés; cependant, on constate qu'ils sont endurcis et cimentés par la phosphorite qui leur donne quelquefois une structure bréchiforme, et les pénètre aussi d'un réseau de veinules.

Les calcaires sont devenus caverneux, comme s'ils avaient été corrodés dans certaines parties, et dans leurs cavités, il s'est déposé de la phosphorite, de la silice, du quartz hyalin ainsi que de la chaux carbonatée cristallisée.

Le métamorphisme de contact exercé par ces filons de phosphorite s'explique très-bien, en admettant que leur remplissage ait été opéré par des sources minérales chaudes, saturées d'acide carbonique et contenant en dissolution du phosphate de chaux ainsi que de la silice.

Imprégnations salines produites par des eaux minérales.

CAUCASE. — M. Jules François (2) a étudié le métamorphisme produit par les eaux thermo-minérales de la partie nord du Caucase. A Piatigorsk où il existe un groupe important de sources hydrosulfurées, alcalino-calcaires avec acide carbonique libre, on voit dans la galerie Tobieff l'eau minérale, qui est à peu près à la température de 40°, s'échapper par les cassures d'une marne éocène ; comme elle laisse dégager son acide carbonique, il en résulte un dépôt de chaux carbonatée qui forme des veines. Dans la galerie Mikhaël, elle paraît avoir produit des veines de pyrite de fer et de baryte sulfatée.

(1) *Memorias de la comision del mapa geologico de España.*
(2) *Ann. de chimie et de physique*, 5e série, VI, 1875.

Partant de l'observation de ces phénomènes actuels, M. J. François attribue aux eaux minérales le métamorphisme observé sur diverses roches du Caucase, notamment sur celles qui ont été imprégnées par des substances salines. Lorsque ces roches étaient très-poreuses, on conçoit que les eaux minérales les aient pénétrées facilement; ainsi les sables du gault de Slaboda-Kisslowodsk ont été imprégnés de sels de soude qui, en se délitant, y produisent des grottes naturelles, dont les arceaux s'agrandissent progressivement. Lors même que les roches étaient très-compactes, les eaux minérales ont encore pu les métamorphoser; car, à Piatigorsk, la craie à inocérames a été intimement pénétrée de sels de soude et de magnésie (carbonate, chlorhydrate, sulfate), ainsi que par des aiguilles de gypse.

Les eaux minérales ont donc métamorphosé les roches à travers lesquelles elles s'infiltrent et elles continuent à les métamorphoser à l'époque actuelle; comme le remarque M. Jules François, ces phénomènes sont surtout bien visibles dans le Caucase où les émanations salines acquièrent une ampleur remarquable.

Formation de dolomie par métamorphisme.

TYROL. — MM. Doelter et Hoernes (1) ont étudié les divers modes possibles de formation de la dolomie, en portant surtout leur attention sur celle du Tyrol méridional. Les auteurs font remarquer qu'il y a lieu de distinguer : 1° la dolomie normale; 2° les roches intermédiaires entre la dolomie et le calcaire dolomitique; 3° le calcaire dolomitique.

La dolomie normale est toujours assez exceptionnelle, et elle se rattache intimement aux massifs voisins de calcaire dolomitique. MM. Doelter et Hoernes ajoutent que les roches du Tyrol méridional étaient très-riches en magnésie, et que la mer triasique devait recevoir beaucoup de sels de cette substance; ces sels, notamment le chlorure, réagissaient sur le calcaire produit par l'activité organique et le transformaient en calcaire dolomitique. Le massif du Dachstein étant composé de calcaire pur et de couches dolomitiques sous-jacentes, ces dernières ont dû être dolomitisées avant le dépôt du calcaire, c'est-à-dire à l'époque même de leur formation. En résumé : 1° des calcaires faiblement dolomitiques peuvent être formés directement dans la mer par l'activité organique; 2° des gisements exceptionnels de dolomie normale peuvent se former après coup par l'introduction du carbonate de

---

(1) *Jahrb. d. K. K. g. R.*, XXV, 3.

magnésie; 3° La plus grande partie des calcaires plus ou moins dolomitiques résulteraient, suivant les auteurs, de la réaction des sels magnésiens de la mer sur le calcaire sécrété par voie organique.

Formation de serpentine par métamorphisme.

ITALIE.—M. d'Achiardi (1) a reconnu en Toscane, au Poderino, dans les environs de San Vivaldo, une roche désagrégée avec veines spathiques et stéatiteuses renfermant des rognons de serpentine compacte, verte et translucide, qui passe graduellement par toutes les variations de consistance et de couleur à des schistes (*galestri*) situés à son contact. M. d'Achiardi y voit un exemple qui montre bien le métamorphisme de l'argile en serpentine et il considère cette dernière roche comme formée, en ce point, par l'action d'eaux souterraines magnésiennes qui, pénétrant dans les schistes argileux, ont substitué peu à peu la magnésie à l'alumine.

Nous pouvons ajouter que des passages de cette nature peuvent facilement être constatés en Italie, au contact des schistes et des roches magnésiennes. On en observe également à Odern dans les Vosges.

Dans ses études minéralogiques sur la province de Bologne, M. Bombicci, qui décrit les serpentines ainsi que les roches vertes feldspathiques (euphotide, oligoclasite), indique de même que les serpentines résultent, non pas d'une fusion, comme l'admettent encore certains géologues, mais bien d'une action hydromoléculaire.

Enfin cette manière de voir se trouve confirmée par les études de M. Capellini sur la formation gypseuse de la Castellina marittima. Examinant les rapports de cette formation avec les roches serpentineuses, M. Capellini est amené à conclure que ces dernières sont métamorphiques; il pense que de nombreuses sources sulfureuses et sans doute aussi magnésiennes, surgirent à la suite de soulèvements du sol pendant l'époque miocène; elles ont alors transformé les lagunes du littoral en lacs séléniteux dans lesquels se sont opérés les dépôts de gypse avec leurs concentrations sphéroïdales d'albâtre.

RONDA. — Les plus grands massifs de serpentine qu'on connaisse en Europe se montrent aux environs de Ronda, dans le sud-ouest de l'Espagne, et l'un de ces massifs ne mesure pas moins de 44 kilomètres de longueur sur 19 kilomètres de largeur. D'après

(1) *R. Comitato geologico d'Italia Bolletino*, 1876, 11.

l'étude qu'en a faite M. J. Macpherson (1), ils présentent des phénomènes remarquables de métamorphisme. D'abord cette serpentine, elle-même, serait produite par un pseudomorphisme du péridot, qu'on lui trouve encore associé, comme dans la serpentine de Snarum et dans la Dunite de la Nouvelle-Zélande, qui a été décrite par M. de Hochstetter; l'examen microscopique de lames minces permet de reconnaître du péridot qui paraît contenir de petites cavités remplies de gaz et quelquefois de liquide; il y a aussi des inclusions d'une matière vitreuse dont M. Zirkel a fréquemment signalé la présence dans le péridot. Les fissures qui traversent le péridot sont remplies par une serpentine qui est généralement opaque et de couleur brun rougeâtre. D'un autre côté, une serpentine plus claire et de couleur jaune verdâtre forme des veines postérieures : elle est moins riche en fer que la précédente; mais du fer chromé et de la magnétite y sont disséminés. La transformation du péridot en serpentine correspond au remplacement d'un équivalent de magnésie par deux équivalents d'eau et peut être représentée par la formule :



$$4MgO, 2SiO^2 + 2HO = (3MgO, 2SiO^2 + 2HO) + MgO.$$

C'est à cette simple réaction que M. Macpherson attribue les dislocations et le métamorphisme des roches en contact avec la serpentine de Ronda, et en particulier la cristallisation du calcaire changé en dolomie, le développement de silicates magnésiens et spécialement de stéatite dans les schistes paléozoïques, la dissémination dans le granite de grains de serpentine ainsi que la décomposition de son feldspath et de son mica. Toutefois il nous paraît que si l'abondance de la magnésie dans les roches encaissantes indique une imprégnation, cette dernière a pu se produire par voie humide, dès l'origine de l'éruption magnésienne; de plus, le développement de la structure cristalline soit dans le calcaire, soit dans les schistes changés en stéatite semble résulter plutôt d'un métamorphisme régional en relation avec la formation des montagnes de Ronda. Le métamorphisme serait donc à la fois spécial et général.

Observons que la puissance des gîtes serpentineux, avec péridot de Ronda, vient confirmer l'importance attribuée par M. Daubrée au péridot dans la constitution de l'écorce terrestre.

Fer spathique au contact du schiste.

Ainhoue. — Il existe à Ainhoue (Basses-Pyrénées) des filons de

(1) *On the origin of the serpentine of the Ronda mountains*, 1876.

fer spathique cuprifère qui sont encaissés dans un schiste cristallin avec mica séricite dont ils empâtent souvent des fragments (1). Tandis que le schiste normal A est gris bronzé ou rougeâtre, celui B, qui est empâté dans le fer spathique, a été métamorphosé et a pris une couleur vert foncé. Des échantillons recueillis dans ce gisement par M. Delesse et analysés par M. L. Durand Claye, au laboratoire de l'École des ponts et chaussées, ont donné les résultats suivants :

	Résidu inattaquable.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	Perte au feu.	Somme.
A	85,55	2,30	1,35	4,30	0,35	0,30	0,03	5,90	100,02
B	65,30	6,85	6,30	14,40	0,35	1,10	0,08	5,95	100,33

La comparaison de ces deux analyses montre que le schiste métamorphosé et verdi, qui est enveloppé par le fer spathique, s'attaque beaucoup plus fortement par l'acide chlorhydrique que le schiste normal : il laisse dissoudre plus de silice, plus d'alumine, plus de magnésie et surtout beaucoup plus d'oxyde de fer. On conçoit d'ailleurs que le schiste encaissant se soit imprégné de fer, lorsqu'il est tombé dans un filon de fer spathique en voie de formation.

Dans les mines de fer spathique de la Bidassoa, on trouve souvent des fragments de schiste argileux empâtés dans les filons et ils ont pris également la couleur verte.

Fer spathique au contact du granite.

BIDASSOA. — Les filons de fer spathique de la Bidassoa ont en outre donné une couleur verte au granite qui les encaisse (2). Ce métamorphisme, analogue au précédent, s'est produit à une distance du contact qui est assez petite, mais d'autant plus grande que le granite est plus fissuré. Les fragments de granite, empâtés dans le fer spathique, ont subi le même métamorphisme et tous leurs minéraux ont pris la couleur verte. Divers échantillons réunis par M. Delesse, ont été analysés comme les précédents par M. L. Durand Claye :

A est le granite normal qui est très-quartzeux, pauvre en mica, et présente comme ses feldspaths une couleur blanche ; il provient des environs d'Irun.
B est le granite métamorphique; il a été pris au contact du filon Santa Adela, qui consiste en limonite résultant de la décomposition du fer spathique.

(1) *Revue de géologie*, IX, 167 et 85.
(2) *Revue de géologie*, IX, 166, 76.

C est la salebande du même filon, qui est également devenue verte ; sa structure est schistoïde parallèlement aux épontes, et on y distingue quelquefois du mica sericite gaufré. Son épaisseur peut atteindre 2 décimètres.

	Résidu inattaquable.	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Alcalis.	Eau.	Somme.
A	88,15	3,30	1,90	3,30	1,35	0,55	0,10	1,00	99,65
B	86,40	3,45	2,45	4,80	0,30	0,40	0,50	2,30	100,15
C	68,00	6,40	6,55	11,20	0,40	0,55	0,20	3,70	100,00

Constatons que le granite métamorphosé et verdi s'attaque un peu plus par l'acide chlorhydrique que le granite normal ; qu'il contient aussi plus d'eau et plus d'oxyde de fer.

La salebande du filon, qui est schistoïde, fournit des résultats assez voisins de ceux obtenus dans l'analyse du schiste métamorphique d'Ainhoue.

Quant à l'hydrosilicate qui donne la couleur verte aux roches et les métamorphose près de leur contact avec le minerai de fer spathique, c'est une espèce de terre verte; mais on voit par les analyses précédentes qu'elle doit être très-riche en fer, pauvre en magnésie et surtout en alcalis.

Métallisation au contact des filons aurifères.

Brésil. — Les filons de quartz aurifère du Brésil offrent des exemples remarquables de métallisation de la roche encaissante, puisque cette dernière peut devenir assez riche pour être exploitée très-avantageusement. Ainsi, à Ouro Preto, M. Gorceix (1) a observé un filon de quartz aurifère coupant des schistes cristallins qu'il a imprégnés d'or. Ce filon contient non-seulement de l'or, mais encore de petites veinules de pyrites arsenicales ainsi que de la tourmaline; ces diverses substances se retrouvent dans les quartzites encaissants qui, pour ce motif, ont été exploités sur une largeur dépassant 100 mètres et sur une longueur de 300 mètres.

D'un autre côté, les schistes phylladiens encaissants n'ont pas été imprégnés d'or et sont complétement stériles, circonstance qui doit sans doute être attribuée à ce qu'ils étaient plus compactes et plus imperméables aux émanations métallifères du filon de quartz.

Trapp au contact de la houille.

Newcastle. — A différentes reprises on a étudié le métamorphisme que houille du bassin de Newcastle a éprouvé au contact des filons de trapp. D'après MM. Clapham et Daglish (2),

(1) Lettre à M. Delesse, 20 juillet 1876.
(2) A. Carcanagues, Él. ingénieur des mines : *Journal de voyage*, 1876.

voici l'analyse de deux échantillons de houille appartenant à la couche Hutton : I est a l'état normal et a été pris à 55 mètres d'un dyke basaltique orienté de l'est à l'ouest. II est pulvérulent et, selon l'expression des mineurs anglais, a été métamorphosé en *Cinder coal;* il provient du contact même de ce dyke.

	HOUILLE			
	avec les cendres.		sans les cendres.	
	I	II	I	II
C.	89,91	80,26	91,77	92,89
H.	3,44	2,40	3,51	2,78
Az.	2,13	1,17	2,17	1,35
O.	1,23	0,92	1,25	1,07
S.	1,27	1,65	1,29	1,91
Cendres.	2,02	13,60	»	»
Somme.	100,00	100,00	99,99	100,00

Cette houille de Newcastle a donc été imprégnée de matières minérales qui accroissent beaucoup le poids de ses cendres, et le phénomène a eu lieu jusqu'à une grande distance du dyke.

L'altération qu'elle a éprouvée dans sa composition chimique est d'ailleurs analogue à celle que la fossilisation produit normalement dans les combustibles ; car, en faisant abstraction des cendres, on voit que le carbone a légèrement augmenté, tandis que l'hydrogène, l'oxygène et l'azote ont diminué (1).

Métamorphisme général ou normal.

Modifications de la tourbe.

Les changements que la tourbe éprouve dans sa composition chimique, par suite de l'âge, de la pression ou, en un mot, de la fossilisation, ont été étudiés par M. W. Detmer (2), en prenant, sur un même point, des tourbes qui étaient enfouies à des profondeurs différentes :

	Cendres.	Az	C	H	O	Somme
Tourbe brune, de la surface.	2,72	0.80	57.75	5.43	36.02	100.00
Tourbe presque noire, d'une profondeur de $2^m,3$.	7,42	2,10	62.02	5.21	30,67	100.00
Tourbe noire, d'une profondeur de $4^m,6$.	9,16	1.05	64.07	5,01	26.87	100.00

(1) Delesse. *Études sur le métamorphisme des roches.* 1858.
(2) *Jahresb. d. Chemie für* 1873. 845.

Il résulte de ces analyses que le carbone et aussi l'azote vont en augmentant avec la profondeur de la tourbe, tandis que l'oxygène va en diminuant de même que l'hydrogène, qui toutefois varie très-peu. Comme il était naturel de le penser, la proportion des cendres augmente, pour une même tourbe, avec sa compacité et par suite avec sa profondeur.

Formation des combustibles minéraux.

M. J. D. Dana (1) s'est occupé de la formation des combustibles minéraux. Il observe que ces combustibles proviennent de fibres ligneuses, de tissu cellulaire, d'écorce, de spores de lycopodes (lepidodendron, etc.), ainsi que de résines et de substances associées. Or, il convient de comparer la composition de différentes substances végétales de l'époque actuelle, semblables à celles qui ont formé les combustibles minéraux, avec la composition de ces combustibles ; c'est ce qui peut être fait facilement à l'aide du tableau suivant, dans lequel on a retranché les matières minérales pour toutes les analyses :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.	Somme.	Auteurs des analyses.
I. Substances végétales.						
1. Bois desséché.	49,66	6,21	43,03	1,10	100,00	
2. *Liége* (écorce du Quercus suber).	65,73	8,33	24,44	1,50	100,00	Mittcherlisch.
3. Spores de Lycopodes. . . .	64,80	8,73	20,29	6,18	100,00	
4. Lycopodium dendroïdeum.	48,70	6,61	43,25	1,44	100,00	Hawes.
5. Equisetum hyemale.	47,50	6,68	44,49	1,27	99,94	Id.
6. Sphagnum.	49,88	6,54	42,42	1,16	100,00	Websky.
II. Combustibles minéraux.						
7. Anthracite.	95,0	2,5	2,5	»	100,00	
8. Charbon bitumineux. . . .	81,2	5,5	12,5	0,8	100,00	
9. Lignite.	68,7	5,5	25,0	0,8	100,00	
10. Tourbe.	59,5	5,5	33,0	2,0	100,00	

Comme le remarque M. Dana, ce tableau montre que, quand la fibre ligneuse se change en anthracite, la diminution dans la proportion d'oxygène et d'hydrogène est environ de 90 p. 100, et que celle de l'oxygène seule dépasse 95 p. 100 ; dans le charbon bitumineux, la proportion d'hydrogène n'est pas très-altérée, mais celle d'oxygène est réduite de plus de 60 p. 100 ; dans le lignite, la proportion d'hydrogène est à peu près la même que dans le charbon bitumineux, tandis que celle d'oxygène est réduite de 40 à 45 p. 100. Quant à l'azote, la plus grande partie disparaît beaucoup plus rapidement et, à l'exception de la tourbe, les combus-

(1) *Manual of geology*, 360.

tibles minéraux en retiennent seulement des quantités très-minimes (1).

Examinant quelle est la composition des cendres fournies par différents végétaux et quelle est leur proportion, M. Dana constate que si l'alumine manque dans les cendres de la plupart des plantes, il n'y en a pas moins de 22 à 50 p. 100 dans les cendres des lycopodiacées actuelles; de plus, l'oxyde de fer peut s'élever à 6 p. 100 dans les lycopodiacées et dans certaines mousses croissant dans des marécages ferrugineux tels que le Sphagnum palustre, il peut dépasser 14 p. 100. Il existe des traces de soufre dans les matières végétales et animales, ce qui explique très-simplement la formation de la pyrite dans les couches de combustibles.

En résumé, M. J. D. Dana arrive aux conclusions suivantes: 1° la plupart des impuretés, trouvées dans les meilleurs combustibles minéraux, doivent provenir des plantes qui les ont formés par leur accumulation; 2° la proportion de cendres contenue dans ces plantes paraît avoir été moindre qu'elle ne l'est maintenant dans les plantes vivantes de la même famille; 3° les vents ou les eaux n'apportaient presque pas de poussières ou de sédiments dans les marécages qui ont produit les couches de combustibles de l'époque carbonifère; 4° les cendres et par suite les détritus qui contribuent à les fournir sont en plus grande proportion près du bord de ces marécages. Du reste, avec un climat humide et avec des forêts très-étendues, les vents ne pouvaient guère transporter des poussières et des sables.

Apatite.

NORWÉGE. — D'après MM. Broegger et H. Reusch (2), tous les gisements d'apatite de la Norwége seraient des filons, traversant aussi bien les roches éruptives que les terrains stratifiés. Ces auteurs les regardent comme des filons d'injection, dont l'éruption serait liée à celle du gabbro avoisinant; elle aurait eu lieu, soit en même temps, soit immédiatement après. Ils font remarquer qu'on n'y observe presque jamais de druses, que le centre des filons est cristallisé à plus gros grain que les bords, enfin qu'il existe dans leur intérieur de nombreux cristaux qui ont été brisés, broyés ou ressoudés. Observons cependant que ces caractères peuvent se rencontrer aussi dans des roches métamorphiques et que, dans certains gisements de Norwége, notamment à Bamble,

(1) Delesse : *De l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre*. 1860.
(2) *Zeit. d. d. g. G.*, XXVII, 3.

l'apatite forme des couches, à peu près horizontales, dans lesquelles la structure cristalline paraît s'être développée par métamorphisme (1)

Amérique du Nord. — M. Dawson (2) considère au contraire tous les dépôts phosphatés des roches laurentiennes et cambriennes d'Amérique comme ayant une origine animale. Les nodules phosphatés, avec fragments de lingules, abondent dans la formation de Chazy. On en trouve aussi dans les schistes à graptolites du groupe de Québec, dans les calcaires et conglomérats du Potsdam inférieur. Ces nodules fournissent de 36 à 55 p. 100 de phosphate de chaux. L'auteur est d'accord avec M. Sterry Hunt, pour les considérer comme des coprolites.

Quant à l'apatite des dépôts laurentiens, malgré sa texture parfaitement cristalline, et quoique les couches d'apatite envoient des ramifications dans leur voisinage, M. Dawson, se fondant sur l'intercalation du gisement au milieu des couches à Eozoon, leur attribue également une origine organique: de même que M. Sterry Hunt, il les fait dériver du métamorphisme d'une roche ayant contenu des coquilles riches en phosphate de chaux.

Calcaire cristallin.

Plaben. — Le calcaire cristallin de Plaben, près Budweis, en Bohême, contient des rognons présentant à l'intérieur du feldspath A et à l'extérieur un minéral verdâtre B. M. R. von Drasche (3) a examiné ces deux substances pour lesquelles il a obtenu :

	Densité.	SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Perte au feu.	Somme.
A	2,68	60,49	24,33	»	4,07	1,46	4,23	5,04	1,69	101,31
B	2,81	34,63	17,13	1,61	»	33,38	»	»	13,93	100,68

Il est à remarquer que ces rognons sont tout à fait analogues à ceux du calcaire cristallin du Saint-Philippe dans les Vosges (4); en outre, le minéral verdâtre, qui paraît être une variété du pyrosclérite, ne provient pas nécessairement d'une pseudomorphose du feldspath, comme on l'a souvent admis d'après G. Bischof; sa formation pourrait s'expliquer plus naturellement, en le supposant contemporain de la cristallisation du calcaire.

(1) *Revue de géologie*, XI, 41.
(2) *Geol. Society*, 22 mars 1876.
(3) *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie*, 1873, 1204.
(4) Delesse : *Annales des mines*, XX, 141.

Macle.

ECKERN. — M. Broegger (1) a étudié des schistes maclifères noirs qui sont situés à l'ouest du lac Eckern et contiennent des graptolites. La macle (chiastolite, andalousite) s'y est développée en prismes ayant 0m,01 de longueur et présentant souvent des traces de la croix noire; sa formation paraît d'ailleurs liée au voisinage du granite, comme en Bretagne et comme dans la plupart des gisements connus.

Feldspathisation.

ARDENNE ET BELGIQUE. — MM. de Lavallée-Poussin et Renard (2) ont publié un mémoire sur les roches dites plutoniennes de la Belgique et de l'Ardenne française. Ils se sont surtout attachés à définir les caractères des roches d'apparence porphyrique qui affleurent sur les bords de la Meuse, entre Mairu et Laifour, et que Dumont avait considérées comme des nappes éruptives intercalées dans les schistes réviniens. L'étude microscopique d'un grand nombre de plaques minces a amené les auteurs à considérer ces prétendues nappes, comme des éléments d'origine clastique dans lesquels des cristaux de feldspaths se sont développés. Les éléments microscopiques de la pâte sont alignés de manière à rappeler la texture des gneiss, et il y a une concordance complète entre la schistosité de ces *porphyroïdes*, comme les appellent les auteurs, et celle des schistes réviniens encaissants.

Le mémoire de MM. Renard et de Lavallée-Poussin contient de nombreuses planches coloriées représentant les plaques vues au microscope, ainsi qu'une carte indiquant la position, sur les bords de la Meuse, des divers affleurements de porphyroïdes et de roches amphiboliques.

En résumé, ces roches de l'Ardenne ont été soumises à un métamorphisme normal qui est surtout caractérisé par la formation de cristaux de feldspaths. Dans plusieurs régions et notamment dans les Vosges, on observe de même des roches schisteuses qui deviennent de plus en plus compactes, se chargent insensiblement d'orthose, de mica, puis de quartz et d'anorthose, en sorte qu'elles finissent par passer à un porphyre granitoïde. Comme beaucoup de roches feldspathiques et comme certains granites, ce porphyre est métamorphique et non pas éruptif.

---

(1) *Neues Jahrb.*, 1876, 662.
(2) *Mémoires couronnés par l'Acad. royale de Belgique.*

Démorphisme et métamorphisme.

Parmi les modifications si nombreuses et si variées que peuvent subir les roches, M. de Lassaulx (1) distingue celles qui se rapportent au *Métamorphisme* proprement dit, et celles qui sont le résultat d'une décomposition, ou d'une altération physique et chimique, pour lesquelles il propose le nom nouveau de *Démorphisme.*

Pour M. de Lassaulx, les *métamorphoses* devraient être attribuées à trois causes seulement :

1° Action d'une température élevée engendrant alors une *Pyromorphose;* les incendies souterrains, les laves, les basaltes et les roches volcaniques en donnent des exemples.

2° Action de dissolution sans qu'il y ait nécessairement intervention d'une haute température ou *Hydatomorphose:* telles sont la métamorphose de l'anhydrite en gypse, du calcaire en dolomie; la transformation de roches péridotiques, augitiques et amphiboliques en serpentine ; ou bien encore la transformation en serpentine de minéraux très-variés, comme celle signalée par M. J. D. Dana à la mine Tilly-Foster.

3° Action de liquides surchauffés tenant en dissolution des matières minérales et donnant lieu à des *Hydatopyromorphoses.* Suivant l'auteur, cette métamorphose spéciale aurait eu lieu au contact des granites et des diabases.

Dans cette classification, M. de Lassaulx semble admettre que la chaleur et l'eau sont les seuls agents du métamorphisme ; en outre, il ne s'occupe guère que du métamorphisme de contact.

Observons de plus que toutes les roches étant plus ou moins imprégnées d'eau dans l'intérieur de la terre, une pyromorphose doit généralement donner lieu à des phénomènes dans lesquels interviennent aussi des eaux surchauffées, et par conséquent à une hydatopyromorphose.

Ajoutons enfin que les recherches faites sur le métamorphisme et sur l'origine des roches éruptives ont montré qu'on ne saurait admettre une température élevée au contact du granite.

(1) *Elemente der Petrographie*. 143.

BULLETIN.

Exposé de la situation de l'Algérie par le gouverneur général civil à l'ouverture de la session du conseil supérieur de gouvernement (14 novembre 1876).

(EXTRAIT.)

III. SITUATION ÉCONOMIQUE.

§ 2. — *Industrie.*

. . . .

Mines. — La situation de notre industrie minière, au commencement du 2e semestre 1876, est exposée dans les trois tableaux dressés par M. l'inspecteur général des mines Ville.

Les principaux documents relatifs à la valeur et aux emplacements des gîtes métallifères algériens, ainsi que les lois et règlements auxquels sont soumises les recherches, les concessions et les exploitations des carrières, mines et sources d'eaux minérales, ont été réunis, par M. Ville, dans une notice accompagnée d'une carte et déposée au bureau des renseignements généraux, qui la tient à la disposition du public.

L'exploitation dominante est toujours celle du fer. Malgré la baisse qui affecte encore les marchés, elle s'est maintenue dans des conditions satisfaisantes, grâce à la teneur élevée des minerais exportés. Quant à ceux qui ne peuvent en ce moment supporter les frais de transport nécessaires pour gagner les hauts fourneaux, on peut espérer qu'ils seront une puissante ressource pour l'avenir, si le problème de l'établissement d'usines métallurgiques en Algérie peut être résolu dans de bonnes conditions.

Le personnel employé aux recherches et à l'extraction des minerais, qui était de 3.906 ouvriers l'année dernière, s'est élevé, en 1876, au chiffre de 4.311.

L'exploitation la plus importante est toujours celle de Mokta-el-Hadid, dont l'exportation a été de 180.000 tonnes pendant les six premiers mois de l'année courante. Vient ensuite la mine de Beni-

Saf, que j'ai visitée au printemps et dont les aménagements sont poursuivis avec une intelligence et une activité remarquables. La compagnie concessionnaire a été autorisée récemment, sur sa demande, à construire à ses frais, à la Mersa Hamed, un port d'embarquement dont le commerce algérien pourra bénéficier dans un délai de trois ans. Le village de Beni-Saf, créé par cette société, compte environ 1.000 habitants et vient d'être constitué en commune mixte.

Les chiffres des exportations faites, pendant le premier semestre de 1876, par chacune de ces deux compagnies, sont :

Pour Mokta-el-Hadid, 184.150 tonnes, représentant une valeur de 3.300.000 francs ;

Pour Beni-Saf, 22.000 tonnes, représentant une valeur de 264.000 francs.

L'exportation des minerais d'Algérie a été supérieure, pendant le premier semestre de cette année, à celle de l'année dernière pendant la même période. Elle se résume ainsi :

Minerai de fer.	234.000 tonnes.
Minerai de cuivre.	2.438
Minerai de plomb.	727

Il existe, dans les trois provinces, 168 gîtes reconnus, parmi lesquels on compte 14 minières de fer exploitées par les propriétaires du sol, et 25 mines de fer, cuivre, plomb, zinc, antimoine, mercure, concédées régulièrement, qui attendent, pour être mises en exploitation, les facilités que doit offrir la création des voies ferrées, l'amélioration des moyens d'embarquement, et la révision, actuellement à l'étude, de la législation minière.

(*Extrait du* Journal officiel de la République française *du* 19 *décembre* 1876, *p.* 9508.)

Extrait du compte rendu de la séance du 15 décembre 1876, de la Chambre des députés.

M. le président. — M. Aclocque a présenté un amendement ainsi conçu :

« Les houilles et les cokes sont exempts de la taxe de 5 p. 100 sur les transports à petite vitesse.

« En compensation, un droit de 0f,15 par tonne sera perçu sur toutes les houilles extraites en France. Les droits de douane seront évevés de 0f,15 sur la houille et de 0f,30 sur les cokes. »

M. Aclocque a la parole.

M. Aclocque. — Messieurs, je crois que je ne serai démenti par personne, dans cette Chambre, si je dis que l'impôt établi sur les transports à petite vitesse présente, au plus haut degré, tous les caractères qui rendent un impôt critiquable. (*C'est vrai!*)

Il est antiéconomique, puisqu'il s'adresse à la richesse en formation. Il est inégal, puisqu'il frappe de la même manière les marchandises pauvres et les marchandises riches; il est injuste, puisqu'il atteint d'autant plus les industriels ou les individus qu'ils sont plus éloignés des matières dont ils sont dépourvus et dont ils ont besoin. Il est nuisible au travail national, puisqu'il le grève d'une charge nouvelle dans sa lutte contre l'industrie étrangère. Enfin il est arbitraire, puisqu'il est proportionné aux tarifs des chemins de fer, qui sont eux-mêmes arbitrairement fixés. Je dois ajouter encore qu'il établit une confusion d'attributions. En effet, il permet aux compagnies de chemins de fer de déterminer l'impôt, quand ce droit appartient essentiellement, exclusivement, à la représentation nationale et ne doit appartenir qu'à elle. (*Très-bien!*)

Avec ce cortége de caractères nuisibles, il semble qu'on n'ait plus qu'à demander la suppression radicale de cet impôt. C'est incontestablement ce que j'aurais fait, sachant, d'ailleurs, que je serais appuyé, dans mes théories économiques, par la pensée intime de M. le ministre des finances...

M. le rapporteur. — Et par la commission du budget.

M. Aclocque. — ... et par la commission du budget, je suis heureux de le constater. Mais, en raison des nécessités budgétaires et dans l'impossibilité de supprimer, d'un seul coup, les 22.500.000 francs que rend l'impôt, j'avais cherché à l'améliorer par un amendement relatif aux houilles et aux cokes, qui sont le pain de l'industrie... (*Interruptions.*)

M. le rapporteur. — Cette proposition était détestable.

M. Aclocque. — Ce n'était pas mon opinion. Cependant l'honorable rapporteur de la commission du budget a fait remarquer que, d'une part, les houilles et les cokes ne devaient pas être l'objet d'un traitement spécial.

A cela, je puis répondre que la formule à trouver, pour généraliser mon système et l'appliquer à toutes les marchandises, était difficile à déterminer et qu'il m'a fallu de longues recherches pour la traduire en projet de loi, et que, d'autre côté, les houilles et cokes ne sont pas dans la situation de toutes les matières transportables en petite vitesse.

En effet, les houilles et cokes forment à eux seuls le quart de l'importance des marchandises transportées en petite vitesse et,

de plus, elles sont consommées non-seulement par toutes les industries, mais encore par tous les particuliers. Sous ce rapport, ne peuvent-elles pas être l'objet d'une mesure spéciale ?

M. le rapporteur m'a fait une observation plus grave, et c'est ce qui motive les quelques paroles que j'ai l'honneur d'adresser à la Chambre.

L'honorable M. Cochery a bien voulu attirer mon attention sur ce fait, que non-seulement je frappais les houilles et les cokes à l'extraction, c'est-à-dire non plus proportionnellement à l'espace parcouru par ces marchandises et proportionnellement aux quantités transportées, mais qu'encore je frappais d'un droit égal les houilles et les cokes introduits en France ; qu'à cet égard, nous allions rencontrer des difficultés sérieuses, en nous trouvant vis-à-vis des nations avec lesquelles nous avions des traités de commerce ; que ces nations n'admettraient probablement pas, comme nous le pensions, que le droit dont nous frappions les houilles à l'intérieur était un droit d'accise, qui nous autorisait à élever le droit d'entrée pour les charbons venant de l'extérieur, et il ajoutait que les négociations à entamer pour lever les difficultés dureraient plus longtemps que l'impôt lui-même.

Cette dernière parole indique que, dans la pensée de la commission, cet impôt n'aura qu'une durée extrêmement restreinte. C'est aussi, je crois, la pensée de M. le ministre des finances ; et ce que je viens demander à la commission du budget, c'est de vouloir bien déclarer à la tribune que, dans son opinion, cet impôt doit être supprimé, je ne dis pas un des premiers, mais le premier. Il est important que non-seulement la Chambre, mais le pays tout entier le sache.

Dans ces conditions, je suis tout prêt à retirer mon amendement ; c'est même ce que je vais faire. Mais j'ai l'honneur de déposer, en mon nom et au nom de nos honorables collègues MM. Estignard, baron de Ladoucette et de Beauchamp, un projet de loi ayant pour but de transformer l'application de l'impôt sur la petite vitesse, en souhaitant que ce projet soit étudié dans l'avenir le moins éloigné possible, si, par malheur, l'impôt était maintenu. (*Très-bien !*)

M. le président. — L'amendement est retiré.

La proposition déposée par M. Aclocque sera imprimée, distribuée et renvoyée à la commission d'initiative parlementaire.

(*Extrait du* Journal officiel de la République française, *du* 16 *décembre* 1876, *p.* 9387.)

Combustion spontanée du charbon.

I. — La commission royale qui avait été nommée il y a quelques mois en Angleterre dans le but d'étudier la combustion spontanée du charbon à bord des navires, d'en rechercher et les causes et les remèdes à y apporter, après avoir tenu ses séances sous la présidence de M. Childers, vient de déposer son rapport sur le bureau de la Chambre des communes. Ce document, qui offre un grand intérêt pratique, indique les précautions à prendre pour éviter des accidents qui jusqu'alors avaient été peu étudiés. La commission comptait parmi ses membres le docteur Percy et le professeur Abel, qui ont été chargés de rédiger la partie scientifique du rapport.

Le développement de chaleur se produisant dans les cargaisons de charbon est dû à des modifications chimiques que certaines substances qu'il contient éprouvent sous l'influence de l'oxygène de l'atmosphère. Les plus connues parmi ces substances sont les combinaisons de soufre et de fer, connues sous le nom de pyrites de fer. L'humidité de l'atmosphère détermine l'oxydation de ces pyrites, qui se produit avec un développement de chaleur, laquelle en s'accumulant peut en arriver à produire l'ignition. Il y a encore une autre cause à l'ignition. Le charbon varie considérablement, non-seulement comme composition chimique, mais encore comme structure, certaines variétés étant comparativement poreuses, d'autres compactes et comme laminées, très-friables et faciles à casser. Le charbon très-divisé et poreux a la propriété d'absorber et de condenser dans ses pores un large volume de certains gaz, parmi lesquels l'oxygène. La condensation d'un gaz par un corps poreux est aussi accompagnée de chaleur. En outre, la tendance à l'oxydation que le carbone et certains de ses composés possèdent est favorisée par la condensation de l'oxygène dans les pores, par suite du contact intime existant entre les molécules de carbone et d'oxygène. Par suite, le développement de chaleur par absorption et l'oxydation agissent simultanément; l'oxydation s'accélère à mesure que la chaleur s'accumule, et l'action chimique agit si énergiquement que le charbon peut être chauffé jusqu'au point d'ignition. Le brisement du charbon avant et pendant le chargement du navire, qu'on ne manque jamais d'effectuer afin d'obtenir un meilleur arrimage et une plus grande rapidité de chargement, favorise l'absorption de l'oxygène et augmente naturellement la tendance à l'échauffement. Il faut remarquer, au

sujet de la seconde cause signalée, que l'humidité de l'atmosphère, loin de la favoriser, remplit au contraire les pores du charbon et diminue sa puissance d'absorber l'oxygène.

Dans un voyage sous les tropiques, le charbon arrimé dans la cale bien fermée d'un navire accumulera une quantité de chaleur telle qu'il n'y a pas de ventilation qui puisse suffire à la faire disparaître : quelque circulation d'air que l'on puisse établir, même dans la partie la moins compacte de la cargaison, elle ne peut avoir un effet de refroidissement suffisant, dit le rapport, et la circulation, en admettant qu'il y en ait une, ne peut être que bien faible dans la masse du charbon menu; aussi la chaleur qui s'y développe y reste-t-elle accumulée et non troublée. Du reste, son développement serait encore favorisé par le supplément d'oxygène qu'un remplacement graduel de l'air environnant apporterait, de sorte que le moment critique serait plus ou moins rapidement atteint selon que le développement de la chaleur serait activé par la ventilation.

La commission a reconnu que les accidents arrivaient principalement dans les voyages sous les tropiques, et que le pour cent de perte augmentait avec la masse de la cargaison. Elle a constaté que, dans le commerce, on considérait généralement le brisement du charbon comme un mal et elle pense que certaines machines usitées pour l'embarquement et connues en Angleterre sous le nom de *tips* et *sponts* contribuaient beaucoup à ce brisement, et le système du chavirement par wagon lui semble préférable ; avec ce système et lorsque la cale est profonde, la chute étant grande présente cependant des inconvénients; pour y obvier, on a imaginé différents moyens : la *Peninsular and Oriental Company*, par exemple, emploie une sorte de caisse ou civière. On a remarqué que l'incendie à bord commençait souvent en dessous du grand panneau. Quant au brisement du charbon, les armateurs y sont assez opposés parce qu'il diminue la valeur du chargement. C'est donc une opération peu profitable en même temps que dangereuse.

La commission a observé que l'on confondait fréquemment les explosions avec les combustions spontanées. Les explosions sont toujours spontanées. Le gaz qui les cause soit dans les mines, soit à bord des navires, est le gaz éclairant des marais ou hydrogène carboné. Quand il est mélangé avec un certain volume d'air, il forme un composé qui fait explosion, mis en contact avec une flamme.

Si on embarque à bord d'un navire un charbon nouvellement extrait de la mine, dont les cavités renferment du gaz des marais,

il y a fort à craindre la formation d'une atmosphère explosive dans la cale ou dans les soutes. A ce sujet, le docteur Percy et le professeur Abel observent dans leur note, annexée au rapport, que l'on devrait avoir recours à tous les moyens possibles pour faciliter l'échappement de ce gaz du charbon qui le renferme et son expulsion à l'air libre; mais il serait à craindre, le gaz nécessitant une grande admission d'air pour devenir explosif, que la ventilation introduisant l'air au milieu du chargement ne devînt hautement nuisible. Il faudrait donc, afin de diminuer les risques d'explosion, avoir des moyens de ventilation très-actifs et permettant l'expulsion à l'air libre du courant, aussitôt après qu'il a été en contact avec le charbon, autrement dit une circulation rapide entraînant le gaz inflammable.

La commission discute sommairement les moyens d'extinction du feu par la production d'acide carbonique que l'on introduit au milieu de la partie enflammée du charbon, et elle est d'avis que ce gaz n'ayant pas d'effet refroidissant ne peut être employé dans le cas où une masse considérable de charbon est enflammée; l'eau et la vapeur sont alors les seuls agents à employer.

En somme, les conclusions de la commission peuvent se résumer ainsi :

1° Certaines espèces de charbons sont particulièrement dangereuses comme chargement pour de longues traversées.

2° Le brisement du charbon dans son transport de la fosse à la cale du navire, l'embarquement du charbon pyriteux dans un état humide, et particulièrement la ventilation à travers la masse de la cargaison, sont propres à engendrer les combustions spontanées.

3° Les combustions eussent été moins fréquentes si les soumissionnaires et les armateurs avaient tenu compte de ces faits.

4° Lorsque le charbon doit être transporté à de grandes distances, il faut vérifier fréquemment les températures des différentes parties du chargement et les porter sur le journal.

5° Dans le but d'éviter les explosions, de libres et continuelles issues à l'air libre doivent être données, en outre de l'ouverture du grand panneau, afin d'avoir un système de ventilation à la surface bon pour tous les temps.

6° Afin de bien déterminer quels sont les charbons les plus susceptibles de combustion, les inspecteurs des mines seront tenus de faire une enquête toutes les fois qu'une combustion de charbons provenant de leur district sera signalée, les armateurs ou le capitaine devant faire connaître la dénomination du charbon formant la cargaison.

7° Il n'y a pas lieu à modification dans la législation au sujet du transport des charbons, sauf en ce qui est dit dans l'article précédent.

En terminant, nous dirons que d'après une statistique établie par l'agence du *Lloyd*, en 1874, sur 31.116 chargements de charbon montant à 13.369.012 tonnes, il s'est produit 70 cas de combustion spontanée. Dans ce nombre, sur 10 millions de tonnes portées par 26.631 navires et destinées aux différents ports d'Europe, y compris ceux de la mer Noire, il ne s'est produit que 10 cas, tandis que les 60 autres cas se sont manifestés pour les 2.850.000 tonnes transportées en Asie, en Afrique ou en Amérique, par 4.485 navires.

(*Extrait de la* REVUE MARITIME ET COLONIALE, *numéro d'octobre* 1876.)

II.—Il est intéressant de rapprocher de l'étude faite par la commission anglaise les conclusions auxquelles était arrivé en 1861 M. Callon, ingénieur en chef des mines, dans un rapport présenté à la commission centrale des machines à vapeur au sujet de l'explosion survenue à bord du brick de commerce le Saint-Yves, allant de Cardiff à Gibraltar.

Ce navire portant un chargement de houille avait sombré en mer par suite d'une explosion du gaz qui s'était développé dans sa cale. Le fait avait été signalé par le capitaine du brick, qu'une goëlette anglaise avait recueilli.

M. Callon, dans son rapport, insista sur la distinction à établir entre les explosions et les incendies dans les chargements de houille à bord des navires.

On sait qu'un morceau de houille récemment extrait d'une mine à grisou et mis sous une éprouvette, donne un dégagement de gaz qui dure quelquefois pendant plusieurs jours. Un chargement de houille fait à bord dans ces conditions dégagera donc du gaz irrespirable et explosif (*). Dans ce cas la cale du navire est analogue à un quartier de mine temporairement envahi par le gaz.

On sait aussi que certains charbons, principalement les charbons menus et pyriteux, s'échauffent et s'enflamment spontanément; un courant d'air dans ce cas, rafraîchit seulement les surfaces, et favorise la combustion ; il serait donc ici plus nuisible qu'utile.

(*) Les variations barométriques ont une influence très-sensible sur ce dégagement.

Enfin les deux cas peuvent se présenter pour un même chargement.

Dans cet ordre d'idées, M. Callon concluait comme suit :

1° Il n'y a point lieu de prescrire par voie de règlement des dispositions spéciales dans les aménagements des navires qui transportent des charbons, parce que, selon les circonstances, on peut être conduit à prendre des dispositions inverses l'une de l'autre.

2° Il peut être bon seulement d'appeler l'attention des armateurs, capitaines de navires et autres personnes intéressées sur les *deux propriétés* que peut présenter quelquefois le charbon, savoir : celle de *dégager du gaz explosif* lorsqu'il est embarqué à sa sortie de la mine, et celle de *s'enflammer spontanément*, surtout lorsqu'il est à l'état de menu, que ce menu est sulfureux et qu'enfin la masse est en contact avec de l'air lentement renouvelé ; et de leur faire connaître que dans le premier cas, il conviendrait de ventiler les cales et de n'y circuler, au moins pendant les premiers jours après la mise à bord, qu'avec des lampes de sûreté, et dans le second cas, au contraire plus fréquent et plus dangereux que le premier, il paraîtrait préférable d'empêcher, autant que possible, le renouvellement de l'air sans cependant fermer toute issue aux gaz qui tendent à se dégager.

On ne peut qu'être frappé de la similitude des conclusions auxquelles vient d'arriver la commission anglaise, et de celles que M. Callon proposait, le 8 février 1861, à la commission centrale des machines à vapeur, qui les adoptait.

F. Cléraut.

Prix de la société d'encouragement pour l'industrie nationale.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale vient de publier le programme des prix et médailles mis au concours pour être décernés dans les années 1877, 1878, 1879, 1880, 1881 et 1882.

Nous croyons qu'il peut être utile de le reproduire en partie.

. . . .

Prix Elphège Baude pour le matériel du génie civil et de l'architecture. — Les exposants de la classe 65, à l'exposition universelle de 1867, ont donné à la société d'encouragement pour l'industrie nationale une somme de 2.515f,75 pour fonder un prix qui sera décerné, tous les cinq ans, à l'auteur des perfectionnements les plus importants au matériel et aux procédés du génie civil, des

travaux publics et de l'architecture. Ce prix sera de 500 francs et sera décerné pour la première fois, s'il y a lieu, en 1880.

Voici la liste d'une partie des autres prix proposés :

Arts mécaniques. — 1° Prix de 2.000 francs pour une machine motrice de 25 à 100 chevaux, brûlant au maximum, en travail courant, 700 grammes de houille de bonne qualité par heure et par force de cheval mesurée sur l'arbre de la machine, pesant moins de 300 kilogrammes et coûtant de 300 à 400 francs par force de cheval. Ce prix sera décerné, s'il y a lieu, en 1881 ; — 2° 1.000 fr. (à décerner en 1878) pour un petit moteur destiné à un atelier de famille;... — 6° prix de 2.000 fr. (1877) pour un moyen pratique d'amortir les ébranlements et les vibrations qui résultent de l'emploi des marteaux mécaniques ou autres machines à percussion, et qui portent obstacle à ce que leur usage dans les villes devienne aussi fréquent qu'il le faudrait dans l'intérêt de l'industrie.

Arts chimiques. — 1° Prix de 2.000 francs (à décerner en 1879) pour l'application industrielle de l'eau oxygénée; — 2° 2.000 fr. (1881) pour la préparation économique de l'ozone et pour ses applications; — 3° 2.000 fr. (1877) pour la fixation de l'azote de l'air, sous forme d'acide nitrique, d'ammoniaque ou de cyanogène; — 4° 2.000 fr. (1880) au fabricant d'acide sulfurique qui, le premier, en employant les pyrites dans sa fabrication, ne livrera au commerce que de l'acide sulfurique entièrement exempt d'arsenic; — 5° 1.000 fr. (1879) pour un nouvel emploi industriel d'une substance minérale quelconque abondante et à bas prix telle que la craie, la chaux, le plâtre, l'argile, la silice, le sulfate de soude, le granite, le sel marin, les minerais de fer, etc. ; —6° 1.000 fr. (1879) pour l'utilisation des résidus de fabrique ; — 7° 1.000 fr. (1877) pour une application utile des métaux nouvellement découverts (calcium, magnésium, baryum, strontium, thallium, etc.); — 8° — 1.000 fr. (1877) pour de nouvelles applications des corps simples non métalliques (silicium, bore, brome, iode, sélénium, phosphore); — 9° 1.000 fr. (1877) pour la découverte d'un nouvel alliage utile aux arts; — 10° 3.000 fr. (1878) pour la production artificielle du graphite propre à la fabrication des crayons ; — 11° 3.000 fr. (1878) pour la préparation artificielle du diamant noir compacte. La société d'encouragement attache une si grande importance à la fabrication du diamant noir, qu'elle se réserve de récompenser libéralement celui qui, par une étude plus approfondie du gisement des diamants noirs ou cristallisés, aurait fourni un point de départ plus sûr aux recherches expérimentales relatives à la production artificielle de cette substance précieuse. Tout

procédé qui permettrait de réaliser cette production serait considéré, d'ailleurs, à quelque prix qu'elle fût effectuée, comme un progrès considérable, promettant pour l'avenir aux ateliers un moyen d'action d'une grande puissance pour le travail du fer, de la fonte, de l'acier et des pierres dures, et serait couronné en conséquence; — 12° 4.000 fr. pour la découverte de procédés capables de fournir, par des transformations chimiques quelconques, des espèces organiques utiles, telles que la quinine, le sucre de canne, etc. Ce prix serait décerné dès qu'il y aura lieu. Le concours restera ouvert jusqu'en 1880 inclusivement; — 13° 4.000 fr. (1882) pour la préparation artificielle des acides gras ou des matières cireuses; — 14° 6.000 fr. pour une théorie de l'acier fondée sur des expériences certaines et ayant pour résultat les moyens de mieux diriger la fabrication de l'acier. La société encouragera tous les efforts tentés dans cette direction par des médailles ou des récompenses annuelles. Le prix sera décerné, s'il y a lieu, en 1879; — 15° 2.000 fr. (1881) pour la désinfection des résidus d'épuration des usines à gaz; — 16° *a.* prix de 1.500 fr. pour une composition qui puise être substituée à l'acide borique ou au borax dans les glaçures des poteries, sans altérer la valeur actuelle des faïences et sans augmenter leur prix; *b.* un prix de 1.000 fr. sera décerné à l'auteur de la découverte de gisements exploitables d'acide borique dans la France ou dans ses possessions; *c.* la société décernera de même une médaille de 500 fr. à l'industriel qui introduira en France, pour les y traiter, des matières autres que le tinkal ou l'acide brut de Toscane, contenant de l'acide borique en quantité suffisante pour une exploitation régulière. Ces prix seront décernés, s'il y a lieu, en 1882; — 17° 1.000 fr. (1877) pour l'extraction, en France, de l'iode que contiennent les nitrates de soude de l'Amérique méridionale, les borates et les phosphates minéraux; — 18° 3.000 fr. (1877) pour un procédé industriel de fabrication des rails en acier fondu, en ne se servant que de minerais communs, contenant, comme les minerais oolithiques et houillers, 0,50 à 1,50 p. 100 d'acide phosphorique; — 19° 1.000 fr. (1877) pour l'établissement, en France, d'une usine où l'on réaliserait le traitement complet des minerais de nickel et la préparation de ce métal pur; — 20° 3.000 fr. (1880) pour la fabrication courante d'un acier ou fer fondu doué de propriétés spéciales utiles par l'incorporation d'un métal étranger; — 21° 2.000 fr. (1879) au fabricant qui produira le premier, en France, l'acide sulfurique fumant dit de Nordhausen, par un procédé plus économique que ceux qui ont été appliqués jusqu'ici. Une prime de 1.000 fr. sera

accordée à l'industriel qui aura mis en œuvre l'une des méthodes déjà connues, en établissant en France une fabrication régulière et suffisamment importante.

Arts économiques. — 1° Prix de 1.000 francs à décerner en 1877, pour une application industrielle de l'endosmose des liquides; — 2° 1.000 fr. (1877) pour l'application industrielle de l'endosmose des gaz;...—4° 2.000 fr. (1881) pour un procédé pouvant assurer la désinfection permanente des fosses d'aisances; — 5° 1.000 francs (1878) pour la dessiccation rapide des bois par un procédé économique et industriel n'altérant pas leurs qualités physiques; — 6° 1.000 fr. (1880) pour la construction d'appareils propres à fournir, rapidement et économiquement, de hautes températures à l'usage des petits ateliers industriels; — 7° 1.000 fr. (1879) pour une application nouvelle de l'analyse spectrale dans l'industrie; — 8° 1.000 fr. (1878) pour un moyen d'empêcher que la suie n'adhère aux parois des tuyaux de cheminée, afin que le ramonage en puisse être complet et assuré.

. . . .

Constructions et beaux-arts appliqués à l'industrie...—2° 2.000 fr. (1877) pour l'exploitation de nouvelles carrières de pierres lithographiques fournissant abondamment des pierres au moins égales en qualité aux meilleures pierres d'Allemagne; ou bien pour l'emploi d'une composition, soit métallique, soit de toute autre nature, qui puisse remplacer avec avantage les bonnes pierres lithographiques.

Conditions générales à remplir par les concurrents. — 1. Les mémoires descriptifs, modèles, renseignements, échantillons et autres pièces, destinés à faire connaître les titres des concurrents, devront être déposés au secrétariat de la société avant le 1er janvier de l'année désignée par le programme pour la délivrance des prix : ce terme est de rigueur.

2. Les concurrents qui auront traité plusieurs des questions mises au concours seront tenus de consacrer à chacune d'elles un mémoire séparé, appuyé de pièces distinctes, qui puisse être transmis, pour examen, à des commissaires différents.

3. Les concurrents qui ne voudraient pas mettre leur invention dans le domaine public devront prendre un brevet d'invention avant de se présenter au concours.

4. Néanmoins les auteurs qui désireraient garder le secret de leurs procédés, et se décideraient à en présenter publiquement les résultats sans prendre de brevet d'invention, seront admis au concours, à la condition de déposer, dans un paquet cacheté, une

description détaillée de ces procédés, dont l'exactitude sera vérifiée et certifiée par un membre du comité compétent.

5. Les mémoires descriptifs, les pièces écrites et les dessins déposés ne seront pas rendus aux concurrents qui n'auraient pas obtenu de prix; mais la société leur en laissera prendre des copies et autorisera, s'il y a lieu, la reprise des modèles et des échantillons.

(*Extrait du* Journal officiel de la République française *du 30 novembre* 1876, *p.* 8856.)

Production des mines du Japon.

	Année 1874.	
	Quantités.	Valeurs.
Charbon.	390.000 tonnes.	1.950.000 dollars
Cuivre.	3.000	900.000
Fer.	5,000	150.000
Plomb.	175	21.275
Etain.	7,5	3.000
Argent.	8.081 kilog.	390.000
Or.	400	250.000
Huile minérale.	9.717,5 hectol.	23.000
Total.		3.687.275

On n'a pas de renseignements complets sur la valeur exacte de ces mines; à l'exception des mines de charbon de Takasima, toutes celles du pays sont exploitées par galeries; les Japonais ne creusent jamais un puits, et, comme ils n'ont pas d'autre moyen d'épuisement que l'emploi des pompes faites avec des tuyaux de bambou, l'abandon des exploitations devient presque partout rapidement inévitable. Les travaux sont entrepris sur des proportions mesquines, faute d'argent; on creuse au hasard là où l'on soupçonne un gisement. On pratique une ouverture dans le flanc de la montagne, et si l'on rencontre le minerai on poursuit; sinon, on ouvre un autre orifice un peu plus loin.

Il n'existe pas de code applicable à la propriété souterraine; quelques règles empruntées aux lois françaises ont été décrétées il y a deux ans; mais elles n'ont pas réussi à l'emporter sur les coutumes locales. La propriété du dessus n'entraîne pas celle du dessous, et le propriétaire qui découvre une mine chez lui doit en obtenir la ferme moyennant une rente annuelle. Il ne peut céder son droit que du consentement du ministre des travaux publics, à un candidat accepté par celui-ci. L'inventeur d'une mine, quand

même il n'est pas propriétaire du sol, en est le fermier de plein droit si le maître du dessus ne réclame pas la préférence. Il n'y a rien de constant dans le montant de la redevance, qui varie pour chaque mine; mais toutes sont soumises à un droit fixe de 3 *yen* (15 francs) par hectare, réduit à 1 *yen* et demi ($7^{f},50$) pour le fer et la houille. Toutes les redevances ont, d'ailleurs, été suspendues à titre d'encouragement à l'industrie.

(*Extrait de la* Revue des Deux Mondes *du* 15 *septembre* 1876 : *Le Japon contemporain, par* M. G. Bousquet.)

Statistique de l'industrie minérale et métallurgique de l'empire d'Autriche en 1874 (*).

Les tableaux I et II (V. p. 637 et 638) donnent la production des mines et des usines ; ils montrent que la valeur totale des produits était respectivement :

		POUR LES MINES.		POUR LES USINES.	
En 1874,	de	109	millions de francs, et	68	millions de francs.
— 1873	—	112	—	90	—
— 1872	—	97	—	72	—
— 1871	—	90	—	60	—
— 1870	—	69	—	57 1/2	—

Ainsi la valeur produite par l'industrie minière en 1873 dépassait de 62 p 100 la valeur produite trois ans auparavant; et la crise industrielle, malgré son intensité, n'avait pu réduire, en 1874, que de 3 millions de francs cette augmentation.

L'effet de la crise a été bien plus sensible sur les produits des

(*) Chaque année, en Autriche, le ministère de l'agriculture (Ackerbau-Ministerium) publie, dès le mois de juin, une série de tableaux statistiques relatifs à l'état et à la production des mines et usines, dans l'année précédente.

Ce volume de tableaux est suivi, quelques mois après, d'un volume explicatif où sont annotés et développés les tableaux précédents.

Ces volumes (*Der Bergwerks-Betrieb Œsterreichs*) donnent une idée très-complète et très-nette de l'état de l'industrie. Ce sont eux auxquels nous avons emprunté les tableaux, ou les éléments pour les tableaux ci-joints.

Il est important de remarquer que tous ces chiffres sont relatifs seulement à l'empire autrichien ; c'est-à-dire aux États en deçà de la Leitha, qui seuls sont représentés au Reichsrath. Il y a sans doute des tableaux analogues publiés à Pesth pour les États au delà de la Leitha (royaume hongrois); mais les Magyars préfèrent s'isoler de l'Europe plutôt que de consentir à employer la langue allemande.

usines, dont la valeur totale est retombée au-dessous de celle produite en 1872. Cependant, il reste acquis un développement important sur l'année 1871.

Dans la somme de 109 millions de francs, produits par les mines, les combustibles minéraux entrent à eux seuls pour 87 millions de francs, soit pour 80 p. 100; les minerais de fer pour près de 9 millions de francs, soit pour 8 p. 100, et tous les autres minerais réunis pour 13 millions de francs, soit pour 12 p. 100.

Dans la somme de 68 millions de francs produits par les usines, les fontes entrent pour plus de 50 millions, soit pour près de 75 p. 100.

En 1873, elles entraient pour plus de 82 p. 100 de la valeur totale.

Et si l'on résume ces chiffres, on voit que :

	POUR LES MINES.		POUR LES USINES.	
Sur une valeur totale de.	109	+	68	soit 177 millions de fr.
La valeur des combustibles est de.	87		"	soit 146 millions de fr.
Celle des minerais de fer de. . . .	9		"	
Celle des fontes de.	"		50	

Ainsi en 1874, la valeur totale des combustibles minéraux, des minerais de fer et des fontes, malgré la baisse si forte de ces dernières, atteint les 0,83 de la valeur totale des produits miniers et métallurgiques; et pourtant il est peu de pays en Europe aussi riche que l'Autriche en métaux divers (mercure, argent, plomb, zinc, bismuth, urane, etc.).

Dans les années précédentes, la valeur de ces trois produits formait un total qui a même été jusqu'à atteindre les 0,85 de la valeur totale des produits miniers et métallurgiques.

Près des trois quarts des mineurs (73 p. 100 en 1874) sont occupés à l'extraction des combustibles minéraux; 10 p. 100 travaillent dans les mines de fer, et 17 p. 100 seulement trouvent à s'occuper dans l'ensemble des mines métalliques si diverses.

Près de 85 p. 100 des ouvriers d'usines sont occupés à la fabrication de la fonte et du fer.

Ainsi, sous tous les rapports, que l'on considère la valeur produite ou le personnel occupé, on voit que, pour les mines, c'est *l'extraction des combustibles minéraux*, qui a une importance absolument prédominante; et que, pour les usines, c'est la *fabrication de la fonte* qui prime toutes les autres.

Favoriser le développement de ces deux industries doit donc être le but de toute législation industrielle.

NATURE des matières extraites.	POIDS.	VALEUR totale.	VALEUR par tonne.	NOMBRE d'exploitations.	NOMBRE D'OUVRIERS EMPLOYÉS. Hommes.	Femmes.	Enfants.	Total.	PRODUCTION par ouvrier.	OBSERVATIONS.
	tonnes.	francs.	francs.						tonnes.	Dans ce tableau, comme dans les suivants, nous avons transformé les florins (gulden) en francs, en prenant pour base la valeur argent moyenne du florin papier, valeur qui était en 1874 de 2f,35.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Houilles.	4.471.234	48.969 300	10,93	369	33 693	2.582	705	36.980	121,0	Bohême, Silésie, Moravie.
Lignites.	6.409.359	37.623.000	5,87	865	25.256	1.889	304	27.449	233,5	Bohême, Styrie.
Graphite.	27.692	1.392.600	50,29	53	896	26	22	944	29,5	21.000 tonnes en Bohême, 3.600 tonnes en Styrie, 2.300 tonnes en Moravie.
Asphalte.	294	9.700	32,90	12	28	»	»	28	10,5	Tyrol et Dalmatie.
Huiles minérales.	560	113.300	202,35	2	141	»	»	141	39,5	Galicie.
Minerais de fer.	906.484	8,745.900	9,64	235	8.381	158	214	8.753	103,5	Styrie, Carinthie, Bohême.
— de manganèse.	4.424	121.600	27.50	5	49	6	1	56	79,0	Carniole et Buckowine.
— de cuivre.	6.760	665.900	98,50	26	945	20	94	1.059	6.4	Salzburg, Buckowine et Tyrol.
— de plomb.	6.566	2.123.900	323,48	78	2.398	850	115	3.363	2.0	4.800 tonnes en Carinthie et 1.300 ton. en Bohême.
— d'argent.	6.633	4.925 600	742.60	20	4.495	49	347	4.891	1,35	Bohême.
— d'or.	153	49.000	320,30	6	154	1	»	155	1,00	Wels (Salzburg).
— de mercure.	32.942	1.919 900	58,30	2	739	4	»	743	44,00	Hydria (Carniole).
— de zinc.	21.147	842.300	39,83	43	955	249	118	1.322	16,00	10.000 tonnes en Galicie, 7.000 ton. en Carinthie.
— d'étain.	1.637	»	»	15	74	»	1	75	21,50	Les minerais traités par les exploitants eux-mêmes n'ont pas été estimés. Elbogen (Bohême).
— de bismuth.	22	»	»	6	27	»	»	27	0,80	Valeur comprise dans celle des mines d'argent. Id. Id.
— de nickel et cobalt.	156	76.200	488,80	4	60	»	»	60	2,6	Wels (Salzburg).
— d'antimoine.	516	188.000	364,50	4	176	17	20	213	2,4	Bohême.
— d'arsenic.	85	1.715	20.10	1	4	»	»	4	21,0	Wels (Salzburg).
— d'urane.	5	75.000	15.000 00	3	47	»	»	47	0,1	Elbogen (Bohême).
— de chrome.	47	6.500	138.40	1	12	10	»	22	2,1	Leoben (Styrie).
— de tungstène.	375	6.200	16.45	1	12	»	»	12	31,0	Teplitz (Bohême).
— de pyrite de fer.	11.783	225.600	19.15	11	547	2	»	549	21,4	8.000 tonnes en Galicie, 3.000 tonnes en Bohême.
Alun et schistes vitrioliques.	114.035	228.100	2,00	21	460	8	35	503	225,0	Bohême.
Totaux.	environ	108,500,000			79.549	5.871	1.976	87.396		

TABLEAU N° 11. — Production des usines en 1874.

NATURE des matières produites.	POIDS produit.	VALEUR DES PRODUITS totale.	VALEUR DES PRODUITS par tonne.	NOMBRE d'usines.	NOMBRE D'OUVRIERS EMPLOYÉS. Hommes.	Femmes.	Enfants.	Total.	OBSERVATIONS.
	tonnes.	francs.	francs.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Fonte { d'affinage. .	290.665	41.735 000	143,60	125	8.492	317	216	9.055	121 hauts-fourneaux en feu.
Fonte { de moulage.	41 492	8 461,000	204,00						55 — hors feu.
Cuivre.	365	819.200	2.214,50	8	187	4	2	193	
Plomb.	4.394	2 803 400	638,00	27	132	24	4	160	
Litharge.	2.337	1 261 000	539,60	4	287	13	23	323	Les ouvriers sont compris dans le traitement des minerais d'argent.
Argent.	21	4.600.000	le kil. 219,00						
Or.	0,014	36.900	— 2,637,00	4	»	»	»	»	Les ouvriers sont compris { partie dans l'exploitation des minerais d'or. partie dans le traitement des minerais d'argent.
Mercure.	372	5.149.000	— 13,85	1	160	»	»	160	
Zinc.	2.817	1.447.800	514,00	6	289	50	14	353	
Etain.	119	152.200	1.279,00	1	64	»	9	73	
Nickel.	37	135,000	3,676,00	2	5	»	»	5	La plupart des ouvriers sont compris dans la production de l'argent ou du cuivre.
Bismuth.	1,5	8.600	5,790,00	2		»	»	»	Les ouvriers sont compris dans l'extraction du minerai de bismuth.
Antimoine.	163	140.750	863,50	1	6	»	»	6	
Arsenic.	18	7.800	435,50	2	2	»	»	2	
Soufre.	902	205.800	228.20	3	33	»	»	33	
Oxyde d'urane. . .	4	184 000	46,000.00	1	14	»	»	14	
Alun.	1 773	356 200	201 00	7	120	16	»	136	
Vitriol.	1.923	177,600	92,35	14	203	34	»	237	
Totaux.	environ	67.700 000			9.994	488	268	10.750	

Nous avons résumé dans un même tableau n° III (V. p. 640 et 641) la production des combustibles minéraux.

Cette production est :

		POUR LA HOUILLE.	POUR LES LIGNITES.	TOTAL.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.
En 1874, de. . . .		4.471 234	6.409.359	10.880.593
En 1873, de. . . .		4.487.395	5.783.525	10.270.920
D'où en 1874	plus. . .	»	625.834	609.673
	moins. .	16.161	»	»

Ainsi, une légère diminution sur la production des houilles, contre une très-forte augmentation sur les lignites.

Dans la production totale des combustibles minéraux en 1874,

La houille entre pour. . . . . 41 p. 100.
Les lignites entrent pour. . . . . 59 —

Si l'on repasse les années antérieures, on voit l'extraction augmenter d'année en année, mais celle des lignites infiniment plus vite que celle des houilles.

Ainsi, la production totale des combustibles minéraux n'était encore en 1870 que de 7.216.823 tonnes,

Qui se composaient de. . . . . 52 p. 100 de houilles.
Et. . . . . 48 — de lignites.

Elle n'était en 1861 que de 3.563.336 tonnes,

Qui se composaient de. . . . . 56,5 p. 100 de houilles.
Et. . . . . 43,5 — de lignites.

L'extraction des combustibles a donc plus que *triplé* dans l'espace de treize ans, entre 1861 et 1874; et l'extraction des lignites dans le même laps de temps, a plus que *quadruplé*.

Si l'on cherche la part de chaque province, dans la production de l'ensemble de ces combustibles, en 1874, on voit que

La Bohême entre pour. . . . . 61,7 p. 100.
La Silésie. . . . . 10,0 —
La Moravie. . . . . 5,7 —
a Galicie. . . . . 3,3 —
La Styrie. . . . . 13,3 —
Les autres provinces. . . . . 6,0 —
100.0 —

TABLEAU N° III. — Combustibles

PROVINCES.	HOUILLES.						OBSERVATIONS.
	NOMBRE d'exploitations.	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS EXTRAIT. Total.	POIDS EXTRAIT. Par ouvrier.	VALEUR de la tonne.	PART de chaque province dans la producton	
			tonnes.	tonnes.	francs.	p. 100.	
1	2	3	4	5	6	7	8
Bohême.	259	19,111	2.480.885	130	10,40	55,49	(1)
Basse Autriche. .	38	656	40.113	61	16,60	0,90	
Haute Autriche. .	2	137	572	»	27,00	0,01	
Moravie.	16	4.586	502.626	110	13,15	11,24	(2)
Silésie.	15	10,085	1.090,554	108	12,35	24,39	(3)
Styrie.	19	179	5.113	»	18,80	0,11	
Carinthie.	»	»	»	»	»	»	
Tyrol.	1	6	15	»	32,90	»	
Carniole.	1	20	10	»	32,90	»	
Dalmatie.	»	»	»	»	»	»	
Istrie.	»	»	»	»	»	»	
Galicie.	18	2.200	351.346	160	7,05	7,86	
Total en 1874.	369	36.980	4.471.234	121	10.93	100,00	
— 1873.	326	38.844	4.487.395	116	12,10	»	
— 1872.	302	37.232	4.147.155	111	12.00	»	
— 1871.	297	35.842	4.352.860	121	10,65	»	
— 1870.	284	32.255	3.758.623	116	9,25	»	

(1) Produit 28.000 tonnes de coke. — (2) Produit 71.000 tonnes de coke. — (3) Produit 54.000 tonnes de coke.

Ainsi les provinces occidentales, et dans ces provinces, leur extrémité nord-ouest, c'est-à-dire leur partie la plus éloignée du centre de la monarchie, fournissent plus de 80 p. 100 de la totalité des combustibles.

Si l'on distingue les combustibles, on voit que

Pour la *houille*, la Bohême fournit.	55,5	p. 100
La Silésie.	24,4	—
La Moravie.	11.24	—
La Galicie.	7.86	—
C'est-à-dire que les prov. septentrionales fournissent.	99,00	—

soit la *totalité de la houille.* — Toute l'Autriche centrale et méri-

minéraux en 1874.

PROVINCES.	LIGNITES.						OBSERVATIONS.
	NOMBRE d'exploitations.	NOMBRE d'ouvriers.	POIDS EXTRAIT. Total. tonnes.	POIDS EXTRAIT. Par ouvrier. tonnes.	VALEUR de la tonne. francs.	PART de chaque province dans la product°ⁿ p. 100.	
1	2	3	4	5	6	7	8
Bohême	667	14.038	4.234.091	301,6	4,35	66,06	
Basse Autriche	13	372	49.131	132	9,75	0,77	
Haute Autriche	5	1.105	296.989	269	6,93	4,63	
Moravie	11	515	103.063	200	4,58	1,60	
Silésie	1	10	2.140	214	9,40	0,03	
Styrie	109	8.070	1.442.544	178	9,16	22,50	
Carinthie	19	1.217	69.674	57	12,34	1,09	
Tyrol	3	196	21.321	109	18,80	0,33	
Carniole	17	864	139.459	161	7,17	2,18	
Dalmatie	5	276	8.652	31	18,21	0,14	
Istrie	1	689	39 468	57	18,45	0,63	
Galicie	8	90	2.824	31	5,52	0,04	
Total en 1874.	865	27.449	6.409.359	233,5	5,87	100,00	
— 1873.	796	27.898	5.783.525	207	6,23	»	
— 1872.	557	24.645	4.822.903	195	5,92	»	
— 1871.	762	22.475	4.222.400	188	5.87	»	
— 1870.	815	18.785	3.458.200	184	5,28	»	

dionale en est absolument privée.

Pour les *lignites* la Bohême fournit	66,06 p. 100	67,73 p. 100
La Moravie, Silésie, Galicie	1,67 —	
La Styrie	22,5 —	32,27 —
La haute Autriche	4,63 —	
Les autres provinces	5,14 —	

Les provinces septentrionales et occidentales fournissent donc aussi plus des deux tiers des lignites.

On comprend par là la prospérité industrielle de la Bohême et la difficulté avec laquelle l'industrie peut se développer dans les autres parties de l'Empire.

La production totale de coke n'est que de 155.200 tonnes.

La Bohême en fournit	18 p. 100
La Moravie	46 1/2 —
La Silésie	35 1/2 —

C'est-à-dire que tout le coke est produit par le bassin houiller limitrophe de la Silésie prussienne.

Le tableau n° IV (p. 643) nous donne la répartition des minerais de fer à la fois *par qualités* et *par provinces*.

Par qualités, nous voyons que les fers spathiques forment les 70 p. 100 de la quantité totale;

Par provinces, nous voyons que

La Styrie fournit	47,8 p. 100	72,5 p. 100
La Carinthie	17,7 —	
Les autres provinces occidentales et méridionales	7,0 —	
Tandis que la Bohême fournit	15,6 —	27,5 p. 100
Et les autres provinces septentrionales et orientales	11,9 —	

Ainsi les provinces septentrionales, riches en combustibles minéraux, fournissent 27,5 p. 100 de minerais, de qualité généralement médiocre, tandis que les provinces méridionales, privées de combustibles facilement utilisables dans les hauts fourneaux, fournissent 72,5 p. 100 de minerais, presque tous de qualités supérieures (fers spathiques).

TABLEAU N° IV. — Extraction des minerais de fer en 1874.

PROVINCES.	NATURE DES MINERAIS DE FER. Fer spathique sphéro-sidérite.	Minerais argileux, minerais des marais.	Hématite brune.	Hématite rouge.	Fer oxydé magnét. chamoisite.	Fer oligiste.	Minerais manganésifères.	Total.	NOMBRE d'ouvriers.	PRODUCTION par ouvrier.	VALEUR de la tonne de minerais.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		tonnes.	francs.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bohême	7.150	14.300	»	63 600	57 000	»	»	142.050	1.339	106	5.80
Moravie	5.900	5.600	38.100	2.950	26.550	4.650	»	83.750	1.128	74	11.10
Silésie	»	12.300	100	230	3.750	»	»	16.380	461	35	14,75
Galicie	»	»	8.100	»	»	»	»	8.100	356	23	
Basse Autriche	11.700	800	»	»	»	»	»	12.500	114	87	
Salzburg	5.500	»	»	»	»	»	»	5.500	53	104	
Styrie	425.000	200	7.800	10	»	10	»	433.020	2 633	165	8,70
Carinthie	150.000	»	»	»	10.500	»	»	160.500	1.698	95	12,70
Carniole	9.300	3.000	1.300	130	»	»	»	13.730	439	31	18,50
Tyrol	12 450	»	»	»	»	»	»	12 450	261	48	
Buckowine	3.200	1.600	»	1.300	»	»	12.400	18.500	241	76	
Totaux et moyennes en 1874.	630.200	37.800	55 400	68.220	97.800	4.660	12.400	906.480	8.753	104	9,65
— en 1873.	690.000	45.000	88.560	95.880	113.000	»	7.500	1.039.912	11 028	94	9,70
— en 1872.	»	»	»	»	»	»	»	927.585	10.535	88	9,65
— en 1871.	»	»	»	»	»	»	»	864 100	10.285	84	9,15
— en 1870.	»	»	»	»	»	»	»	836.100	10.081	82	7,65

Ces deux tableaux, qui donnent la répartition des combustibles et des minerais, expliquent la position si difficile de l'industrie métallurgique autrichienne.

Le pays possède largement les éléments nécessaires pour la fabrication; mais ces deux éléments essentiels sont aux deux extrémités opposées de l'Empire.

Ces tableaux III et IV nous donnent aussi les quantités produites par ouvrier et par an.

L'exploitation des lignites est, en moyenne, bien plus facile que celle des houilles. Les couches sont généralement à faible profondeur; elles sont souvent puissantes et peuvent, sur bien des points, être attaquées à ciel ouvert.

Aussi voit-on la production par homme atteindre 300 tonnes en Bohême. De 1870 à 1874, la production moyenne par an croît sans cesse; c'est l'effet d'installations de plus en plus perfectionnées, et spécialement de l'amélioration du roulage qui occupe de moins en moins d'hommes.

Pour les houilles, l'immense développement que prennent les demandes en 1870 et 1871 amène une exploitation outrée; on extrait, mais on n'aménage pas suffisamment, de sorte qu'en 1872, malgré les besoins, on n'est plus en état de tirer une quantité aussi élevée. Les efforts se reportent sur l'aménagement, aussi l'extraction peut-elle reprendre une nouvelle impulsion en 1873, puis en 1874, et l'on revient à la production de 121 tonnes par homme et par an, chiffre bien faible encore comparativement à ce que produit le mineur dans les autres pays (*).

Pour les mines de fer, l'amélioration des méthodes amène également, d'année en année, une augmentation dans la production spécifique de l'ouvrier; de 82, la production monte à 104 tonnes; elle atteint même 165 tonnes, mais c'est en Styrie, où le nom de mine n'est pas exact, puisque presque tout le minerai spathique s'exploite à ciel ouvert, par grandes tailles en gradins droits.

En Carinthie, où cependant l'extraction dure toute l'année, et n'est pas interrompue en hiver comme en Styrie, un mineur ne produit encore que 95 tonnes; car il ne doit pas seulement abattre, mais aussi rouler à bras dans de longues galeries tortueuses et accidentées.

(*) Si nous nous reportons à la statistique prussienne (*Annales des mines*, t. IX, page 639), nous trouvons des extractions de 206 tonnes par homme et par an pour les houilles, et de 412 tonnes par homme et par an pour les lignites.

Les conditions si défectueuses donnent au minerai de Carinthie un prix de revient supérieur d'un tiers à celui de Styrie.

La crise financière n'a amené qu'une réduction relativement faible du nombre des ouvriers mineurs dans les exploitations houillères ; mais l'effet a été bien plus sensible dans les mines de fer. La réduction a été de 20 p. 100 sur le nombre des ouvriers.

Le tableau n° V (p. 646), indique les quantités de fontes, d'affinage ou de moulage, produites dans chaque province, et le combustible qui a été employé. Il donne de plus la production par homme et par an, la valeur des produits et le nombre des fourneaux.

L'Autriche produit surtout des fontes d'affinage ; dans la quantité totale de fontes produites, il n'entre pas plus de 12,5 p. 100 de fonte de moulage.

Les pays producteurs de *fonte d'affinage*, sont

Avant tout la Styrie, qui fournit.	41,5 p. 100
Et la Carinthie.	20,2 —
Puis vient la Moravie avec.	14,6 —
La Bohême avec.	7,0 —
La Silésie avec.	5,9 —
La basse Autriche avec.	6,4 —

Ainsi les 0,70 de la fonte d'affinage sont fournis par les pays de la région des Alpes, c'est-à-dire par les minerais spathiques.

Au contraire les pays producteurs de la *fonte de moulage* sont:

Avant tout la Bohême pour.	57,8 p. 100	85,3 p. 100
La Moravie pour.	18,5 —	
La Silésie pour.	5,2 —	
La Galicie pour.	3,8 —	

Ainsi plus des 0,85 des fontes de moulage sont fournis par les provinces septentrionales, avec leurs hématites et leurs autres peroxydes. Avec les fers spathiques, il n'est guère fabriqué plus de 10 à 12 p. 100 de la totalité des fontes de moulage. Somme toute, la région des Alpes fournit 66 p. 100, et les autres provinces 34 p. 100, de la quantité totale des fontes.

La nature des fontes explique partiellement les grandes différences qui existent entre les chiffres de la colonne de production spécifique par ouvrier; car tout le personnel des mouleurs, en première fusion, est compris dans les ouvriers des fourneaux.

Ainsi le faible chiffre donné par la Bohême s'explique par la prédominance des fontes de moulage, et aussi par la faible production de chaque fourneau.

TABLEAU N° V. — Production de la fonte en 1874.

PROVINCES.	FONTE PRODUITE.			COMBUSTIBLE EMPLOYÉ.			NOMBRE	PRODUCTION par ouvrier et par an.	VALEUR de la fonte		NOMBRE des hauts fourneaux	
	Fonte d'affinage.	Fonte de moulage.	Total.	Charbon de bois.	Coke.	Combustible minéral cru.	d'ouvriers.		d'affinage.	de moulage.	en feu.	hors feu.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	mèt. cubes.	tonnes.	tonnes.		tonnes.	francs.	francs.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bohême.	20.319	23 881	44.200	200.000	14 167	»	3.402	13,0	149	177	28	23
Moravie.	42 392	7.662	50.054	145.000	36.054	3.625	1.510	33,0	130	233	15	8
Silesie.	17.197	2.137	19.334	44 500	18,770	752	920	21,0	134	282	7	1
Galicie.	980	1.593	2.573	48.000	230	»	454	»	132	304,5	4	4
Basse Autriche.	18.444	480	18.924	117.500	24.656	»	285	66,0	140	294	3	2
Salzburg.	2.528	35	2.563	27 800	»	»	60	»	165	171	2	»
Styrie.	120 537	2.609	123.146	855.500	46 505	4.900	942	130,0	150	172	33	3
Carinthie.	58.814	1.059	59.873	334.000	12.750	»	795	75,0	144	150	16	7
Carniole.	5 606	538	6 144	50.000	»	»	309	20,0	146	255	8	4
Tyrol.	2.453	855	3.308	23 000	412	»	183	»	173	340	2	2
Buckowine.	1.394	644	2.038	34.500	»	»	195	»	151	279	3	1
Totaux et moyennes en 1874.	290.665	41.492	332.157	environ 1.880,000	123.544	9,277	9.065	36,5	144	205	121	55
— en 1873	320.619	50.460	371.079	»	»	»	9.795	38,0	194	236	141	39
— en 1872.	250 880	62.048	312.928	»	»	»	10.069	31,5	181,5	230	134	40
— en 871.	250 320	41.440	291.760	»	»	»	12.278	24,0	150	246	132	47
— en 1870.	206.192	24.304	230.496	»	»	»	11,636	20,0	151	245,5	138	43

Au contraire, le chiffre très-élevé relatif à la Styrie s'explique par la fabrication presque exclusive des fontes d'affinage, et par la forte production de quelques-uns au moins des fourneaux.

Le charbon de bois reste encore le principal combustible employé dans les fourneaux. Pour fournir ces 1.880.000 mètres cubes de charbon de bois nécessaires aux fourneaux autrichiens, il ne faut pas moins de 4.300.000 stères de bois, c'est-à-dire qu'il faut exploiter annuellement 18.000 hectares de bois de haute futaie, de 80 à 100 ans d'âge.

C'est une exploitation qui conduit à un épuisement bien rapide des richesses forestières du pays. Aussi voit-on déjà presque toutes les provinces employer des combustibles minéraux crus ou carbonisés. Cette tendance ne peut que s'accentuer d'année en année. Une portion peu importante de la fonte est transformée par les procédés Bessemer ou Martin.

La production de	*métal Bessemer* et de	*métal Martin*
a été en 1873 de	62.088 tonnes.	3.500 tonnes.
et en 1874 de	57.153 —	3.462 —

TABLEAU N° VI. — Salines.

PROVINCES.	PRODUCTION.				VALEUR.	NOMBRE d'ouvriers.
	Sel gemme.	Sel raffiné.	Sel marin.	Sel pour l'industrie.		
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	francs.	
Haute Autriche.	260	55.112	»	1.015	13.036.500	1.071
Salzburg.	87	20 574	»	84	4.512 000	332
Buckowine. . . .	961	1.016	»	»	414.500	39
Styrie.	229	15 443	»	42	3 396 000	411
Tyrol.	86	21.707	»	39	4.097.500	269
Dalmatie.	»	»	2.862	»	142.000	788
Istrie.	»	»	27.510	281	501.000	4.505
Galicie.	79.459	39.375	»	12.484	27.204.000	1.815
Total en 1874. .	81.082	153.227	30.372	13.945	53.303.500	9.230
— en 1873. .	80.458	148.857	41.171	13.208	52.254.000	9.729

Accidents.

Le nombre total des ouvriers tués dans les mines en 1874 s'est élevé à 170, soit 1.94 p. 1.000, et celui des ouvriers grièvement blessés a atteint 163, soit 1,86 p. 1.000, c'est-à-dire qu'il y a eu 1 ouvrier tué sur 514, et 1 grièvement blessé sur 536 ouvriers occupés dans les mines. Voici d'ailleurs le tableau comparatif pour 1873 et 1874 :

NATURE des exploitations.	1873 — NOMBRE D'OUVRIERS					1874 — NOMBRE D'OUVRIERS				
	occupés.	tués.		grièvement blessés.		occupés.	tués.		grièvement blessés.	
		total.	p. 1.000.	total.	p. 1.000.		total.	p. 1.000.	total.	p. 1.000.
Mines de houille.	38.844	102	2,62	81	2,09	36.980	77	2,08	77	2,08
— de lignites.	27.898	62	2,22	83	2.97	27.449	60	2,18	45	1,64
— de fer. . . .	11,028	16	1,45	22	1 99	8.753	14	1,59	17	1,94
— métalliques et autres.	13.353	10	0,75	27	2,02	14.214	19	1,33	24	1,68
Total.	91.133	190	2,08	213	2,33	87.396	170	1,94	163	1,86

Le chiffre élevé qu'avaient atteint, en 1873, les accidents suivis de mort, principalement dans les houillères, tenait en partie au grand nombre d'ouvriers nouvellement embauchés et peu habitués au travail des mines.

1874	OUVRIERS		
	tués.	grièvement blessés.	total.
Dans les puits verticaux. .	59	15	74
Sur les plans inclinés. . . .	6	14	20
Dans les galeries et tailles.	40	54	94
Pendant l'abatage.	43	58	101
Au jour.	22	22	44
Total.	170	163	333

Ainsi la plus grande partie des accidents mortels (83 p. 100) arrivent :

Dans les puits verticaux. . . . . 34,5 p. 100
Pendant l'abatage. . . . . 25,1 —
Dans les galeries. . . . . 23,4 —

Tandis que ce sont ces deux dernières causes seulement qui produisent le plus grand nombre d'accidents graves sans cependant entraîner la mort.

Si l'on tient compte à la fois *de la nature des mines* et du *point où se produit l'accident*, on obtient le tableau suivant.

Sur 1.000 ouvriers occupés en 1874, ont été tués ou grièvement blessés :

NATURE DES EXPLOITATIONS.	DANS les puits verticaux.	SUR les plans inclinés.	DANS les tailles et galeries.	PENDANT l'abatage.	AU jour.	TOTAL.
Dans les mines de houille.	0,69	0,38	1,27	1,57	0,27	4,16
— de lignite.	1,02	0,11	1,05	0,98	0,65	3,82
— de fer.	0,80	»	0,91	0,80	1,03	3,58
— métalliques, etc.	0,98	0,21	0,70	0,63	0,49	3,02
Dans toutes les mines en 1874.	0,85	0,23	1,08	1,16	0,50	3,81
— — 1873.	0,91	0,16	1,34	1,51	0,49	4,42

Ainsi, c'est à l'abatage et dans les galeries que se sont produits en 1874 des accidents sensiblement plus nombreux qu'en 1873.

Si l'on veut un compte complet des causes d'accidents, il faut se reporter au tableau suivant :

Causes d'accidents.

CAUSES.	NOMBRE D'OUVRIERS tués.	blessés.	total.	p. 100.	OBSERVATIONS.
Rupture subite du toit, du mur de la couche, ou de l'armature du puits.	33	42	75	22,5	
Appareils d'extraction.	24	30	54	16,2	
Chute dans les puits.	26	7	33	9,9	
Grisou.	15	13	28	8,4	(1)
Explosion de poudre ou dynamite.	7	17	24	7,2	
Havage.	11	11	22	6,6	
Gaz irrespirable.	14	»	14	4,2	
Roulage.	11	3	14	4,2	
Chute de pierres venant du jour, ou de portions de couche.	10	4	14	4,2	
Machines.	2	8	10	3,0	
Causes diverses.	17	28	45	13,6	
Total.	170	163	333	100,0	

(1) En 1873, le grisou causait 30 p. 100 des accidents.

Enfin à 1 homme tué correspond une extraction de :

NATURE DES MATIÈRES.	QUANTITÉ. 1873	1874	VALEUR. 1873	1874
	tonnes.	tonnes.	francs.	francs.
Houille.	43.989	53.068	530 000	637.000
Lignite.	93.271	106.823	580.000	631.900
Minerai de fer.	65.028	64.749	660.008	622 000
Autres minerais.	22.976	12.395	1.140.000	682.000
Moyennes.	60.751	70.307	590.000	636.000

Si l'on compare ces chiffres à ceux fournis par la statistique prussienne, on a les résultats suivants :

Pour 1 homme tué, on a une extraction de :

	EN PRUSSE (1873).	EN AUTRICHE (1874).
	tonnes.	tonnes.
Dans les mines de houille.	72.000	53.000
— de lignite.	160.000	107.000

Par 1.000 ouvriers employés, le nombre des tués est :

Dans les mines de houille.	2,82	2,08
— de lignite.	2,77	1,64
Dans l'ensemble des mines.	2,50	1,86

Ainsi les deux tableaux conduiraient à des résultats contradictoires, quant à la sécurité relative des mines dans les deux pays. En Prusse, la production par homme est plus forte. Mais aussi les accidents sont plus nombreux.

Situation des caisses de secours mutuels à la fin de l'année 1874.

PROVINCES.	NOMBRE des caisses de secours.	des membres des sociétés.	des pensionnaires.	CAPITAL des caisses de secours en francs.
Bohême.	141	45.328	8.794	5.907 000
Basse Autriche. . .	24	1.699	116	383 000
Haute Autriche. . .	2	952	99	121.500
Salzburg.	16	1 077	368	573.200
Moravie.	29	17.061	3 986	3 025.000
Silésie.	15	8.040	1.668	1.057.500
Buckowine.	2	716	333	102 000
Styrie.	57	15.875	1 552	2.312 400
Carinthie.	35	7 167	1.261	1.002.500
Tyrol et Voralberg.	15	1.589	447	415.950
Carniole.	8	2.901	505	372 700
Istrie.	1	619	61	17.850
Galicie.	18	4.759	950	446.500
Total. . . .	363	107.783	20.140	15.737.100

Sur les 20.140 pensionnaires secourus, il y a { 5 922 hommes. 8.037 veuves. 6.181 orphelins.

Les secours distribués sont de deux natures :

Secours permanents, sous forme de pensions ou de secours aux travailleurs infirmes, aux veuves et aux orphelins.

Secours temporaires, sous forme de secours aux malades, de frais de médecins et médicaments, frais d'ensevelissement, etc.

En 1874, il a été distribué :

	francs.
Sous forme de *secours permanents*	1.485.600
— de *secours temporaires*	1.405.100
Soit un total de.	2.890.700

Soit une moyenne de 143 francs par personne secourue.

Le capital total des sociétés de secours correspond à une somme d'environ 170 francs par membre.

Dans la plupart des sociétés, ce capital varie entre 140 et 190 fr. par associé.

(*Extrait par* M. Ed. Gruner (fils) *du* Bergwerks-Betrieb Œsterreichs 1874).

Statuts de l'Institut royal de géologie et de l'Académie des mines de Berlin.

INSTITUT DE GÉOLOGIE.

§ 1er. — L'Institut royal de géologie a pour but d'entreprendre l'étude géologique du territoire prussien et d'en rendre les résultats accessibles et profitables à la fois à la science et aux intérêts économiques du pays.

§ 2. — Le programme des travaux de l'Institut de géologie est le suivant :

1° L'exécution et la publication d'une carte géologique spéciale de tout le royaume, d'après la carte de l'état-major au 1 : 25.000. Cette carte devra comprendre une représentation complète des relations géologiques, de la composition du sol et du gisement des roches et minéraux utiles qui s'y trouvent, et être accompagnée d'un texte explicatif;

2° L'exécution, d'après la carte de l'état-major au 1 : 100.000, d'une carte géologique d'ensemble dont l'avancement suivra progressivement celui de la carte détaillée;

3° L'exécution de monographies géologiques pour quelques portions du territoire ou quelques gisements minéraux particuliers;

4° La publication de mémoires géologiques, paléontologiques,

d'études sur les mines ou autres objets analogues se rapportant à la carte;

5° La collection et la conservation de tous les échantillons se rapportant à la carte ou à des travaux spéciaux. Ils seront déposés, avec les cartes, coupes géologiques, etc., au *Musée de géologie*, auquel se rattachent les collections technologiques du *Musée de métallurgie et d'exploitation des mines*. Cet ensemble de collections donnera une idée aussi complète que possible de la composition géologique, de la constitution du sol, des richesses minérales du pays et de l'industrie qu'elles peuvent alimenter;

6° La collection et la conservation des objets intéressants au point de vue géologique, trouvés dans le pays, et des renseignements qui s'y rapportent.

§ 3. — L'administration de l'Institut de géologie se compose de deux directeurs nommés par le roi; l'un d'eux est le directeur de l'Académie royale des mines. C'est sous leur conduite et avec leur concours que sont exécutés les travaux de l'Institut de géologie, par des géologues ayant qualité de fonctionnaires publics, et par un certain nombre de collaborateurs. Les appointements des géologues et de leurs collaborateurs sont fixés par des règlements spéciaux.

OBLIGATIONS DE L'ADMINISTRATION DE L'INSTITUT DE GÉOLOGIE.

§ 4. — Les obligations de service communes de l'administration de l'Institut de géologie sont :

1° L'exécution du programme annuel des travaux ;

2° La surveillance de son exécution régulière ;

3° L'organisation des conférences des géologues collaborateurs, et l'exécution des mesures prises dans celles-ci ;

4° La révision du travail annuel des collaborateurs ;

5° La direction de toutes les publications de l'Institut ;

6° La direction des travaux dans les collections du musée de géologie.

7° La rédaction d'un rapport annuel sur l'avancement des travaux de l'Institut.

ACADÉMIE DES MINES.

§ 5. — *Programme des études.* L'Académie royale des mines est reliée avec l'Institut de géologie ; son programme d'études comprend les matières suivantes :

1° Exploitation des mines;
2° Métallurgie générale;
3° Sidérurgie;
4° Exploitation et raffinage du sel;
5° Docimasie générale;
6° Essais au chalumeau;
7° Essais de fer;
8° Projets d'établissements industriels;
9° Technologie métallurgique;
10° Technologie chimique;
11° Topographie, arpentage et géodésie;
12° Exercices pratiques de topographie et d'arpentage et de dessin à main levée;
13° Étude générale des machines;
14° Étude des machines employées dans les mines et les usines;
15° Exercices de construction;
16° Dessin,
17° Art de bâtir;
18° Trigonométrie plane et sphérique, stéréométrie et géométrie analytique;
19° Calcul différentiel et intégral;
20° Géométrie descriptive;
21° Mécanique;
22° Minéralogie;
23° Exercices de minéralogie;
24° Pétrographie;
25° Exercices de pétrographie;
26° Géognosie;
27° Paléontologie;
28° Géologie générale;
29° Exercices de chimie au laboratoire;
30° Répétitions de chimie analytique;
31° Législation des mines.

Le directeur de l'Institut peut autoriser des cours supplémentaires sur certains sujets spéciaux.

§ 6. — L'enseignement dure trois ans. Il consiste en cours qui, régulièrement, durent un an, et auxquels se rattachent des travaux et des exercices pratiques dans les salles de dessin, les laboratoires et les collections.

§ 7. — Les cours du semestre d'hiver commencent le 1er novembre et durent, sauf une interruption de quinze jours pour les vacances de Noël, jusqu'au début des vacances de Pâques qui sont de trois semaines. Les cours du semestre d'été commencent après ces vacances et durent jusqu'au 31 juillet.

§ 8. — *Admission à l'Institut.* Sont admis à l'Institut:

1° Les étudiants dans l'art des mines qui perfectionnent leur instruction pour le service de l'État;

2° Les étudiants des Universités allemandes, les élèves de l'École professionnelle et de l'École d'architecture de Berlin, de l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle, de la classe supérieure de l'École polytechnique de Hanovre, et de l'Académie des mines de Clansthal.

L'entrée à certains cours et exercices peut être accordée à d'autres personnes par le directeur de l'Institut. Leur admission peut être subordonnée à un examen sur leur instruction préalable.

§ 9. — L'admission à l'Institut doit être demandée par les étudiants au directeur pendant les quinze premiers jours de chaque semestre. Ceux qui l'obtiennent reçoivent une carte d'admission.

§ 10. — *Frais d'inscription.* L'admission aux cours et exercices est en partie gratuite, en partie soumise à des frais d'inscription. Les étudiants qui produisent un certificat d'indigence peuvent

être dispensés des frais d'inscription par le directeur. Les élèves stipendiés de l'École royale professionnelle, ainsi que les autres élèves de cette école qui y avaient été admis comme boursiers par raison d'indigence, en sont dispensés de droit.

§ 11. — Les frais d'inscription semestriels sont réglés d'après le nombre des heures de cours par semaine, à raison de 3 marcs ($3^f,75$) par heure de cours; pour les exercices dans le laboratoire d'essais, à raison de 4 marcs $\frac{1}{2}$ ($5^f,62$) par semestre; pour les exercices dans les laboratoires de chimie, à raison, pour les analyses quantitatives, de 75 francs pour le semestre d'hiver, de $56^f,25$ pour le semestre d'été, ou de $22^f,50$ par chaque mois; et pour les analyses qualitatives, à raison de 30 francs par chaque semestre.

Le règlement des frais d'inscription pour l'enseignement supplémentaire est soumis à l'appréciation des professeurs qui en sont chargés, sauf approbation du directeur.

§ 12. — Le payement des inscriptions doit se faire aux employés de la comptabilité au plus tard dans les quatre semaines qui suivent l'ouverture des cours, et pour l'entrée aux laboratoires aussitôt qu'on y est admis.

Les inscriptions pour les cours réguliers sont versées dans la caisse de l'Institut et celles des cours supplémentaires sont remises aux professeurs qui en sont chargés, à moins que ceux-ci ne touchent pour ces cours des appointements spéciaux sur la caisse de l'Institut.

§ 13. — *Certificat d'admission.* On peut délivrer aux étudiants, sur leur demande, un certificat constatant leur admission à l'Institut et leur participation aux leçons et aux exercices.

§ 14. — *Examens de sortie.* Après leur temps d'étude écoulé, les étudiants pourront passer des examens d'après lesquels on leur délivrera un diplôme de sortie constatant leur degré d'instruction.

L'examen portera sur celles des sciences ou matières enseignées à l'Institut que les étudiants choisiront.

Seront admis à ces examens les étudiants qui auront fréquenté pendant deux semestres au moins les cours et exercices de l'Académie des mines.

Le directeur de l'Institut donnera, dans des instructions spéciales, des détails plus complets au sujet de ces examens.

§ 15. — *Professeurs.* Les professeurs de l'Institut sont, les uns titulaires, les autres supplémentaires. Les professeurs titulaires sont nommés par le ministre du commerce, de l'agriculture et des travaux publics; les professeurs supplémentaires sont chargés de

certains cours, moyennant rétribution et sous réserve de révocation.

Les géologues domiciliés à Berlin font partie des professeurs titulaires, quand ils sont chargés de cours.

Le directeur peut, à titre d'aides, nommer des professeurs adjoints (*Assistenten*).

Les cours réguliers incombant à chaque professeur seront fixés par le programme des études.

Les professeurs de l'Institut sont autorisés à faire des cours supplémentaires, à la condition que les cours réguliers qui leur sont confiés n'en souffrent pas.

Le directeur peut aussi autoriser des professeurs d'autres écoles supérieures, des fonctionnaires et d'autres personnes ayant qualité pour cela, à faire des cours supplémentaires.

§ 16. — *Collections publiques*. L'entrée aux collections pupliques, savoir :

Le musée de géologie,
Le musée de métallurgie et d'exploitation des mines,
La collection de minéralogie,
La collection de métallurgie,

est autorisée dans les conditions du règlement qui sera publié par le directeur.

§ 17. — *Bibliothèque*. La bibliothèque ministérielle des mines, attenante à l'Institut, est ouverte aux professeurs et aux étudiants de l'Institut, ainsi qu'à d'autres personnes, pour la lecture et l'emprunt des livres, dans les conditions du règlement qui sera publié par le directeur.

§ 18. — *Administration*. L'Institut de géologie et l'Académie des mines ressortissent au ministère du commerce, de l'agriculture et des travaux publics. Le directeur de l'Académie des mines dirige l'ensemble de l'Institut, avec le concours d'un conseil composé de cinq membres nommés par le ministre du commerce, de l'agriculture et des travaux publics. Ce conseil a à s'occuper des dispositions organiques et de la fixation du programme général des études.

Les travaux de comptabilité et de bureau sont faits par des employés spéciaux de l'Institut; la caisse est gérée par les employés de la caisse de l'administration supérieure des mines.

(*Traduction par* M. Oppermann, *ingénieur des mines, du* Statut der königlichen geologischen Landesanstalt und Bergakademie in Berlin.)

Statistique de la production du pétrole en Pensylvanie.

Le tableau suivant indique la production annuelle d'huile minérale en barils (*barrels*) de 160 litres, avec la valeur moyenne et totale en dollars, pour chaque année de 1859 à 1874 :

ANNÉES.	QUANTITÉS PRODUITES en barils.	PRIX MOYEN du baril.	VALEUR TOTALE.
		dollars.	dollars.
1859	3.200		41.664,00
1860	650.000		4.368.000,00
1861	2.113.600	2,73	5.770.128,00
1862	3.056.606	1,68	5.135.098,08
1863	2.611.359	3,99	10.419.322,41
1864	2.116.182	9,66	20.442.318,12
1865	3.497.712	6,57	22.979.967,84
1866	3.597.527	3,73	13.418.775,71
1867	3.347.306	3,18	10.644.433,08
1868	3.715.741	4,15	15.420.325,15
1869	4.215.000	5,85	24.657.750,00
1870	5.659.000	3,80	21.504.200,00
1871	5.795.000	4,35	25.208.250,00
1872	6.539.103	3,75	24.521.636,25
1873	9.879.455	1,84	18.178.197,20
1874	10.910.303	1,17	12.765.054,51
Totaux et moyenne. . . .	67.707.094	3,48	235.175.120,35

De cette production totale de 67.707.094 barils (108.331.350 hectolitres), il a été exporté 32.490.971 barils (51.985.554 hectolitres). Le raffinage de cette huile, au prix de 2 dollars par baril, appliqué aux 0,75 du total, représente une valeur supplémentaire de plus de 100 millions de dollars.

Il a été exporté, à l'état brut, 32 millions et demi de barils, dont la valeur sur les puits, sans raffinage, représente 140 millions de dollars.

De l'origine de l'exploitation jusqu'au 1er janvier 1869, il avait été foré 5.560 puits; la production totale, à cette date, s'élevant à 25.700.000 barils, la quantité moyenne produite par puits était de 4.600 barils. De 1869 à 1874, il a été foré 4.939 puits, avec une production moyenne de 8.400 barils chacun.

(*Extrait par* M. ZEILLER, *ingénieur des mines, du* Special Report on the Petroleum of Pennsylvania, *par* M. HENRY E. WRIGLEY; *Second geological Survey of Pennsylvania.*)

Industrie minière de la Sardaigne.

Au nombre des principaux éléments qui contribuent à la richesse de la Sardaigne, figure sans contredit l'industrie minière.

Il a paru intéressant de relever les quantités et valeurs des minerais exportés pendant les quatre dernières années écoulées, et de présenter en même temps le résultat obtenu par les sociétés minières les plus importantes pendant la campagne de 1874-1875.

Le tableau n° 1 représente les quantités et valeurs des minerais exportés pendant les années 1872, 1873, 1874 et 1875 ; le tableau n° 2 est une copie du relevé officiel dressé, pour la dernière campagne, par le bureau central des mines de Sardaigne, établi à Iglesias (province de Cagliari).

TABLEAU N° I. — Quantités et valeurs des minerais exportés.

ANNÉES 1872, 1873, 1874, 1875.

ATURE DES MINERAIS.	1875.		1874.		1873.		1872.	
	Quantité.	Valeur.	Quantité.	Valeur.	Quantité.	Valeur.	Quantité.	Valeur.
	tonnes	francs.	tonnes.	francs.	tonnes.	francs.	tonnes.	francs.
inerai de zinc.	64.099	5.127.952	53.930	3.572.320	56.490	3.954.300	60.434	1.327.240
inerai de plomb. . . .	17.705	5.311.500	16.792	4.713.290	18.327	5.498.100	16.499	1.641.440
inerai de fer.	8.532	85.320	17.734	152.620	11.921	178.815	11.327	109.240
inerai de manganèse.	1.234	304.499	1.229	223.400	1.037	207.400	525	41.000
inerai de cuivre. . . .	16	2.400	»	»	11	1.540	13	5.000

Il résulte du tableau n° 1 que l'exportation du minerai de zinc a été la plus considérable, et que, malgré la décroissance que semble présenter aujourd'hui l'industrie minière en général dans l'île de Sardaigne, cette exportation s'est toujours maintenue dans une proportion très-supérieure à celle des autres produits minéraux.

En seconde ligne, figure le plomb argentifère, dont la quantité exportée pendant les quatre années précitées s'élève au total à 69.323 tonnes, et la valeur à 17.164.330 francs.

Le minerai de fer occupe le troisième rang, mais a subi une diminution sensible pendant l'année 1875. En effet, l'exportation de ce produit, qui était, pour chacune des années 1872 et 1873, de 12.000 tonnes environ, et de 18.000 tonnes pour l'année 1874, est descendue en 1875 à 8.532 tonnes.

L'exportation du manganèse a subi peu de variations. Elle s'élève au total, pour les quatre années, à 4.025 tonnes représentant une valeur de 776.229 francs.

Enfin les mines de cuivre, qui ont été l'objet de nombreuses recherches sans résultat fructueux et dont les travaux sont aujourd'hui suspendus, n'ont fourni à l'exportation qu'une quantité de 40 tonnes évaluées à 8.940 francs.

Le tableau n° 2 énumère le résultat réalisé par chacune des principales sociétés minières de la Sardaigne pendant la campagne de 1874-1875; il mentionne la valeur en francs et la quantité en quintaux métriques des minerais obtenus et exportés. La teneur indiquée de chaque minerai est généralement inférieure à la teneur réelle à cause de l'impôt (richesse mobile), qui frappe le bénéfice obtenu. Cependant le bureau des mines d'Iglesias, en dressant son relevé à la fin de chaque campagne, a soin d'établir des moyennes basées sur ses essais. On peut donc admettre que la teneur mentionnée est suffisamment exacte.

A côté de ces indications figure le nombre des ouvriers employés dans chaque mine. Ces ouvriers se divisent en deux catégories distinctes : la première comprend ceux qui sont employés à l'intérieur de la mine, tels que les mineurs proprement dits, les boiseurs et les rouleurs de wagons. Ils sont presque tous du con-

TABLEAU N° II. — Exploitation des mines

CAMPAGNE

ARRONDISSEMENT.	NOM DE LA MINE.	NOM DES SOCIÉTÉS.	OUVRIERS employés		PRODUITS	
					QUANTITÉ	
			à l'intérieur de la mine.	à l'extérieur de la mine.	de minerai de plomb argentifère, galène et carbonate de plomb.	de minerai de zinc, calamine et blende.
					quint. mét.	quint. mét.
Iglesias.	Montevecchio.	Société Montevecchia. . .	448	527	45.340,72	»
Id.	Monteponi.	Société Monteponi. . . .	845	849	104.536,52	57.118,75
Id.	San Giorgio.	Idem.	107	44	1.263,12	9.063,02
Id.	San Giovanni di Gonesa.	Gonnesa Mining Company limited.	133	89	9.311,00	»
Id.	Puxeddu et Enna Murta.	Idem.	123	89	300,00	13.944,00
Id.	Monte Uda et Monte Cani.	Idem.	42	21	826,32	»
Id.	Gutturu Pala.	Idem.	62	47	400,00	724,97
Id.	Monte Zippiri.	Idem.	26	30	352,32	»
Id.	Malacazetta.	Société de Monte Santo.	224	254	25.000,00	»
Id.	Masna.	Idem.	164	237	35.448,17	9.500,00
Id.	Nebida.	Société de Nebida, Rossi et Cie.	56	29	2.600,00	»

tinent, arrivent au mois d'octobre et partent au mois de juin. Leur salaire à l'entreprise varie de 3f,50 à 5f,50 par jour. La seconde catégorie comprend les ouvriers travaillant à l'extérieur de la mine, soit comme manœuvres, soit comme laveurs. Les Sardes sont exclusivement employés à ces travaux, leur salaire maximum est de 2f,50 pour les adultes, et 1 franc pour les femmes et les enfants.

Chaque société possède pour les ouvriers des caisses de secours, un hôpital, une pharmacie, un médecin et des infirmiers. La caisse de secours est alimentée par une retenue de 2 à 4 p. 100 sur les salaires, suivant les règlements de chaque société. Cette retenue n'est obligatoire que pour les continentaux.

La vente des minerais de plomb se fait généralement en Belgique, en Angleterre, en Italie (à l'usine de Pertuzzola, près la Spezia), et en France à Couéron et à Marseille ; celle des minerais de zinc se fait en France et en Belgique ; l'Angleterre achète aussi une certaine quantité de ces derniers.

Les minerais de fer et de manganèse sont vendus en France. Les lignites ne sont plus exportés et se consomment presque entièrement sur place.

dans l'île de Sardaigne.

1874-75.

OBTENUS ET EXPORTÉS DE L'ÎLE.					
TENEUR PAR 100 KILOG.			VALEUR TOTALE DANS LE PORT D'EMBARQUEMENT		
Plomb.	Argent.	Zinc.	du minerai de plomb argentifère.	de la calamine crue ou calcinée et de la blende.	du produit complexe de la mine.
kilog.	grammes.	kilog.	francs.	francs.	francs.
»	»	»	1.360.221,60	»	1.360.221,60
63	26,50	30	2.324.879,00	456.850,00	2.781.729,00
68	25,43	17	30.819,60	63.463,14	94.382,74
»	»	»	295.767,01	»	295.767,01
»	»	»	9.000,00	94.219,00	106.219,00
»	»	»	18.616,52	»	18.616,52
»	»	»	2.800,00	7.756,05	10.556,05
»	»	»	10.599,60	»	10.599,60
65	103.50	»	1.120.000,00	»	1.120.000,00
54	50,00	40	602.616,00	62.700,00	665.316,00
»	»	»	38.600,00	»	38.600,00

Suite du

ARRONDISSEMENT.	NOM DE LA MINE.	NOM DES SOCIÉTÉS.	OUVRIERS employés		PRODUITS	
					QUANTITÉ	
			à l'intérieur de la mine.	à l'extérieur de la mine.	de minerai de plomb argentifère, galène et carbonate de plomb.	de minerai de zinc, calamine et blende
					quint. mét.	quint. mét.
Iglesias.	Crabulazzu.	Société civile des mines d'Ingurtosu et Gennamari.	178	247	16.961,96	»
Id.	Ingurtosu.	Idem.	109	129	4.853,89	»
Id.	Gennamari.	Idem.	70	135	4.664,47	»
Id.	Piccalinna.	Société anonyme de « la Nuova Arborese ». . . .	183	198	12.323,00	»
Id.	Marganai Regraxius.	Marganai Forest and Mining Company limited.	94	59	4.128,48	»
Id.	Gibbas.	Robert Girdwood.	33	25	538,40	»
Id.	Gozurra Suergiolu. .	Monte Albo Mining Company limited.	177	90	5.000,00	»
Id.	Mines de Nieddoris.	Compagnie générale des mines en Sardaigne. .	77	56	160,00	»
Id.	Cabitza.	Société anonyme de Malfidano et Planu-Sartu.	67	48	8.481,33	»
Id.	Planu-Sartu et Malfidano.	Idem.	265	473	»	290.754,00
Id.	Campo-Pisano. . . .	Société de Monteponi. .	25	12	»	1.666,50
Id.	S. Benedetto et Pala is luas.	Société de la Vieille-Montagne.	28	133	»	69.800,00
Id.	Sa Duchessa.	Idem.	19	107	»	50.000,00
Id.	Iglesias.	Idem.	29	25	445,17	13.395,00
Id.	Idem.	Idem.	15	10	»	4.800,00
Id.	Cungiaus.	Idem.	25	11	»	8.427,65
Id.	Bacceddu.	Société du Midi de la France.	»	56	»	36.398,10
Id.	Canali Ringias. . . .	Idem.	33	5	»	9.119,50
Id.	Pira Roma Planu Dentis.	Idem.	42	22	950,00	»
Id.	Terras Nieddas. . . .	Compagnie générale des mines en Sardaigne. .	Les ouvriers sont compris dans le total de ceux de Perda S' olin.		1.250,00	»
Id.	Perdas de Pogu. . .	Idem.	Id.		180,00	»
Nuoro. .	Argentaria.	Pellas et C[ie].	36	30	3.840,00	»
Sassari.	Idem.	Société générale des mines en Sardaigne. . .	»	»	2.000,00	7.000,00

Mines

Cagliari.	Ginnanin Bonn. . . .	Société anonyme des mines de Lanusei.	183	80	1.933,79	»
Id.	Baccu Arradas. . . .	Idem.	70	58	713,76	»
Id.	Monte Narba.	Société anonyme de Lanusès.	49	58	282,88	»
Iglesias.	Perda S' olin.	Compagnie des mines en Sardaigne.	124	170	1.010,00	»

tableau n° II.

OBTENUS ET EXPORTÉS DE L'ILE.

TENEUR PAR 100 KILOG.			VALEUR TOTALE DANS LE PORT D'EMBARQUEMENT		
Plomb.	Argent.	Zinc.	du minerai de plomb argentifère.	de la calamine crue ou calcinée et de la blende.	du produit complexe de la mine.
kilogr.	grammes.	kilogr.	francs.	francs.	francs.
74	48,61	»	502.483,06	»	502.483,06
72	48,58	»	142.304,66	»	142.304,66
73	48,40	»	139.430,57	»	139.430,57
71	94,00	»	382.013,00	»	382.013,00
»	»	»	165.112,00	»	165.112,00
75	21,00	»	22.612,00	»	22.612,00
»	»	»	125.000,00	»	125.000,00
»	»	»	3.660,00	»	3.660,00
73	23,13	»	210.360,54	»	210.360,54
»	»	»	»	»	»
»	»	49	»	17.671,50	17.671,50
»	»	»	»	314.100,50	314.100,00
»	»	»	250.000,00	»	250.000,00
»	»	»	6.677,00	73.673,50	80.350,50
»	»	»	»	24.300,00	24.300,00
»	»	»	»	33.710,60	33.710,60
»	»	»	»	128.536,00	128.536,30
»	»	»	»	31.234,28	31.234,28
57	16,37	»	18.400,00	»	18.400,00
78	»	»	37.500,00	»	37.500,00
78	»	»	5.400,00	»	5.400,00
»	»	»	94.913,35	»	94.913,35
»	325	»	60.000,00	105.000,00	165.000,00
d'argent.					
»	»	»	420.976,00	»	420.976,00
»	»	»	174.207,00	»	174.207,00
»	»	»	96.332,00	»	96.332,00
»	»	»	213.918,00	»	213.918,00

Suite du tableau n° II.

ARRONDISSEMENT.	NOM DE LA MINE.	NOM DES SOCIÉTÉS.	OUVRIERS employés: à l'intérieur de la mine.	OUVRIERS employés: à l'extérieur de la mine.	PRODUITS OBTENUS et exportés: Quantité.	PRODUITS OBTENUS et exportés: Valeur.
		Mines de fer (fer oxydulé magnétique).				
					quint. mét.	francs
Cagliari.	Gutturu S. Antonio.	Société génoise des mines en Sardaigne. . . .	81	133	3.820,00	11.460
Id.	San Leone.	Société Petin, Gaudet et Cie.	21	21	108.800,00	138.228
		Mines de lignite.				
Iglesias.	Bacu Abis.	Société anonyme de mines.	79	40	44.750,00	83.818
Id.	Fontanamare.	Société Monteponi.	117	21	72.533,62	108.800
Id.	Terras de Collu. . .	Holland, Bickett et Cie. .	27	4	1.700,00	3.400
Id.	Brabusi.	Société sarde des charbons.	6	15	2.000,00	3.000
		Mines de manganèse.				
Iglesias.	Capobecco.	Pierre Charreyre.	12	7	5.610,00	32.000
Id.	Capo Rosso.	Edmond Piot.	17	9	3.000,00	19.500
		Mines de nickel, cobalt et bismuth.				
Iglesias.	Gruppodi Nieddoris.	Société générale des mines en Sardaigne. . . .	Compris dans le total des mines de Nieddoris.		105,60	26.400
Id.	Fenugu Sibiri. . . .	Emile Jacob et Victor Baron.	20	16	250,00	50.000
		Mines de cuivre.				
Id.	Bantalentino.	Travaux suspendus. Filons fort maigres.			»	»
Id.	Barisonis.					
Id.	Aresias.					
		Mines d'antimoine.				
Id.	Snergiu.	Travaux suspendus. Minerai commun dans le pays.			»	»
		Minerais mélangés (zinc, plomb, cuivre, argent).				
Id.	Spiluneargiu. . . .	Minerais très-abondants, intraitables jusqu'à ce jour. Ont donné lieu à de très-fortes dépenses sans résultat proportionné.				
Id.	Sa Lilla.					
Id.	Parredis.					

On ne saurait passer sous silence les appareils mécaniques employés aujourd'hui dans les mines de la Sardaigne.

L'exploitation commençant à atteindre le niveau des vallées a rendu nécessaire l'emploi d'un grand nombre de machines d'épuisement et d'extraction, fabriquées la plupart en Belgique; c'est ainsi que la mine de Monteponi emploie 1.000 chevaux de force pour l'épuisement de l'eau.

Les préparations mécaniques du minerai de plomb prennent un très-grand développement. Les mines de Monteponi, Montevecchio, Gennamari et Ingurtosu ont, chacune, plusieurs établissements mus par des machines fixes et locomobiles; les autres sociétés commencent à entrer dans la même voie.

Plusieurs mines possèdent des chemins de fer à locomotives. La mine de Saint-Léon a un chemin de fer qui va à la Madeleine; celle de Monteponi en a un qui abouti à Porto Wesme; celle de Montevecchio en a un également qui va rejoindre San Gavino, lieu d'embranchement de la voie ferrée d'Oristano à Cagliari.

Les mines de Gennamari et d'Ingurtosu ont des chemins de fer à chevaux jusqu'à la plage de Piseinas.

En outre, presque toutes les sociétés ont créé des routes carrossables dont le développement, en dehors des routes existant à l'intérieur des mines, peut être évalué à environ 200 kilomètres.

Il reste à examiner quelle est la situation actuelle de l'industrie des mines en Sardaigne.

On peut dire, en général, que toutes les mines de plomb exploitées depuis une vingtaine d'années entrent aujourd'hui dans la période critique. En effet, l'exploitation ne se fait plus que difficilement, au moyen de galeries de niveau; on est obligé de se servir de machines d'extraction et d'épuisement qui, dans les conditions locales, et en raison du prix des combustibles, de la quantité d'eau à épuiser, de la difficulté du transport et du maintien d'un personnel fixe pendant toute l'année, apportent un surcroît de dépenses tel, qu'il est à craindre que beaucoup d'exploitations se trouvent contraintes de suspendre leurs travaux.

Les mines de calamine, elles aussi, qui jadis ont donné des résultats importants, et cela grâce à la facilité de l'exploitation qui se faisait à ciel ouvert et sur des minerais en roche, se trouvent présentement dans une situation bien inférieure. Les travaux ont gagné en profondeur et les minerais sont devenus terreux, au point que les principales sociétés ont été forcées de faire d'immenses dépenses pour créer des préparations mécaniques à l'effet

de laver les minerais pauvres que l'on extrait actuellement, ce qui n'a pas empêché une diminution notable dans la teneur en zinc. L'exploitation des minerais de zinc se trouve indubitablement en décadence et il n'y a guère lieu d'espérer de pouvoir trouver de nouveaux gisements importants.

Les mines de fer sont assez importantes en Sardaigne, toutefois les gisements sont généralement tellement éloignés des côtes qu'il en résulte pour le transport des produits des dépenses énormes.

Quant aux mines d'argent, elles ont été, celles de Sarrabus, de Flumini-Maggiore, par exemple, l'objet des plus grandes espérances. Au moment de leur découverte, elles présentaient des minerais dont la teneur atteignait jusqu'à 12 p. 100, c'est-à-dire 12 kilogrammes d'argent pour 100 kilog. de minerai; elles continuent encore à produire, mais les filons sont peu riches en minerai ; la teneur est descendue à 3 p. 100 en moyenne environ.

(*Extrait d'un rapport adressé à M. le ministre des affaires étrangères, par M. le consul de France à Cagliari.*)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIXIÈME.

Pages.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIXIÈME.

Paris. — Imprimerie Arnous Rivière, rue Racine, 26.



LISTE DES ÉCHANGES AUTORISÉS

ENTRE

LES ANNALES DES MINES ET LES PUBLICATIONS FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES.

Les *Annales des mines* ont été adressées, à titre d'échange, en 1876, aux Sociétés et publications dont les noms suivent :

1. — The Journal of the FRANKLIN INSTITUTE. *Philadelphie.*
2. — The American Journal of science and arts. *New-Haven.*
3. — AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY. *Philadelphie.*
4. — Philosophical Transactions of the ROYAL SOCIETY OF LONDON.
5. — The quarterly Journal of the GEOLOGICAL SOCIETY. *Londres.*
6. — Minutes of the Proceedings of the INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. *Londres.*
7. — ROYAL IRISH ACADEMY. *Dublin.*
8. — ÉTABLISSEMENT GÉOGRAPHIQUE DE BRUXELLES, foudé pa M. Philippe van der Maelen.
9. — Bibliothèque universelle et Revue suisse; partie scientifique: archives des sciences physiques et naturelles. *Genève.*
10. — Mémoires de la SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE.
11. — SOCIETÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE. *Paris.*
12. — Journal de mathématiques pures et appliquées. *Paris.*
13. — Annales de Chimie et de Physique. *Paris.*
14. — SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE. *Paris.*
15. — Journal de Pharmacie et de Chimie. *Paris.*
16. — Jahrbuch der KAISERLICH - KÖNIGLICHEN GEOLOGISCHEN REICHSANSTALT. *Vienne.*
17. — ROYAL GEOLOGICAL SOCIETY OF CORNWALL. *Penzance.*
18. — GEOLOGICAL SURVEY OF GREAT BRITAIN. *Londres.*
19. — ROYAL SOCIETY OF EDINBURGH.
20. — The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. *Londres.*
21. — SMITHSONIAN INSTITUTION. *Washington.*
22. — Zeitschrift der DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. *Berlin.*

23. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. *Giessen.*
24. — Zeitschrift des OESTERREICHISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS. *Vienne.*
25. — The Canadian Journal of Science, Literature and History; CANADIAN INSTITUTE. *Toronto.*
26. — Zeitschrift des ARCHITEKTEN UND INGENIEUR-VEREINS ZU HANNOVER. *Hanovre.*
27. — GEOLOGICAL SURVEY OF INDIA. *Calcutta.*
28. — Berg- und Hüttenmännische Zeitung. *Leipzig.*
29. — Bulletin de la SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE.
30. — SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS.
31. — Il Politecnico. Giornale dell' Ingegnere, Architetto civile ed industriale. *Milan.*
32. — Zeitschrift des VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE. *Berlin.*
33. — SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. *Paris.*
34. — OBSERVATOIRE DE PARIS.
35. — BOSTON SOCIETY OF NATURAL HISTORY. *Boston.* (*États-Unis.*)
36. — Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. *Wiesbaden.*
37. — Moniteur des intérêts matériels. *Bruxelles.*
38. — Iron. The Journal of science, metals and manufactures. *Londres.*
39. — Mittheilungen aus dem Jahrbuche der KÖNIGLICHEN UNGARISCHEN GEOLOGISCHEN ANSTALT. *Pesth.*
40. — The Journal of the IRON AND STEEL INSTITUTE. *Londres.*
41. — The Engineering and Mining Journal. *New-York.*
42. — NORTH OF ENGLAND INSTITUTE OF MINING AND MECHANICAL ENGINEERS. *Newcastle-upon-Tyne.*
43. — LITERARY AND PHILOSOPHICAL SOCIETY OF MANCHESTER.
44. — Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. BERGAKADEMIEN ZU LEOBEN und PRZIBRAM und der KÖN. UNGAR. BERGAKADEMIE ZU SCHEMNITZ. *Vienne.*
45. — Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen. *Vienne.*
46. — Revue universelle des Mines et de la Métallurgie. *Liége.*
47. — Transactions of the AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS. *Easton.* (*Pensylvanie.*)
48. — The American Chemist. *New-York.*
49. — Stummer's Ingenieur. *Vienne.*
50. — ACADEMY OF NATURAL SCIENCES OF PHILADELPHIA.
51. — COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA. *Madrid.*
52. — Mémorial de l'Artillerie de la Marine. *Paris.*

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1876.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

Aoust. — Analyse infinitésimale des courbes dans l'espace; par M. l'abbé Aoust, professeur d'analyse et d'astronomie à la Faculté des sciences de Marseille. In-8°, xx-564 p., 11 fr. (11323)

Joubert. — Sur les équations qui se rencontrent dans la théorie de la transformation des fonctions elliptiques. Propositions données par la Faculté. Thèses pour le doctorat ès sciences mathématiques; par la P. C. Joubert, S. J., professeur à l'École Sainte-Geneviève. In-4°, 113 p. (8208)

Vallès. — Des formes imaginaires en algèbre. 3° partie. Représentation algébrique, à l'aide de ces formes, des directions dans l'espace; par M. F. Vallès, inspecteur général honoraire des ponts et chaussées. In-8°, XII-250 p. 5 fr. (9203)

2° *Chimie. — Physique.*

André. — Étude de la diffraction dans les instruments d'optique; son influence dans les observations astronomiques. Propositions données par la Faculté. Thèses pour le doctorat ès sciences physiques; par M. Ch. André, astronome adjoint à l'observatoire de Paris. In-4°, 82 p. (6619)

Bobierre.—Laboratoire de chimie agricole de la Loire-Inférieure, 1850-1875. Compte rendu des travaux; par Adolphe Bobierre,

directeur du laboratoire, directeur et professeur de chimie à l'École supérieure de Nantes. In-8°, 395 p. et 4 pl. (6640)

Bontemps. — Les Systèmes télégraphiques aériens, électriques, pneumatiques; par M. Ch. Bontemps, sous-inspecteur des lignes télégraphiques. In-8°, vi-347 p. et atlas de 12 pl. (6362)

Buignet.—Manipulations de physique, cours de travaux pratiques professé à l'École supérieure de pharmacie de Paris; par Henri Buignet, professeur, membre de l'Académie de médecine. Avec 265 fig. intercalées dans le texte. In-8°, xii-788 p. (10587)

Crova. — Mesure de l'intensité calorifique des radiations solaires et de leur aspiration par l'atmosphère terrestre; par M. A. Crova, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier. In-4°, 74 p. et 3 pl. (9812)

Hirn. — Théorie mécanique de la chaleur. 1re partie. Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur; par G. A. Hirn. 3e *édition*, entièrement refondue. T. II. In-8°, xii-435 p. avec fig. dans le texte. (6757)

Maumené. — Traité de la fabrication du sucre, comprenant la culture des plantes saccharines, l'extraction du sucre brut, le raffinage, le traitement des mélasses, la distillation et les opérations relatives au travail des salins et potasses, etc.; par E. J. Maumené, docteurs ès sciences, ancien professeur à la chaire municipale de Reims. T. I. In-8°, vii-648 p. (10971)

Pasteur. — Études sur la bière, ses maladies, causes qui les provoquent, procédé pour la rendre inaltérable, avec une théorie nouvelle de la fermentation; par M. L. Pasteur, membre de l'Institut de France et de la Société royale de Londres. In-8°, viii-387 p., 12 pl. gravées et 85 fig. dans le texte. 20 fr. (6842)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

Barrois. — Recherches sur le terrain crétacé supérieur de l'Angleterre et de l'Irlande. Thèse pour le doctorat ès sciences naturelles; par Charles Barrois. In-4°, 232 p. et 3 pl. (7909)

Dumas. — Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du département du Gard. Ouvrage accompagné de pl. et d'une carte géologique en 5 grandes feuilles; par Émilien Dumas, membre de la Société géologique de France. 2e partie. In-8°, 735 p. (9828)

4° *Mécanique. — Exploitation.*

Reuleaux. — Cinématique. Principes fondamentaux d'une théorie

générale des machines; par F. Reuleaux, directeur de l'Académie industrielle de Berlin. Traduit de l'allemand par A. Debize, ingénieur des manufactures de l'État. 1er fascicule, avec gravures dans le texte. In-8°, 520 p. et atlas de 8 pl. (11807)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

CHALLOT. — Tramways et chemins de fer sur routes. Historique, jurisprudence, réglementation, d'après les documents officiels; par P. Challot, chef de division au ministère des travaux publics. In-8°, 376 p. 5 fr. (1489)

REGRAY. — Le Chauffage des voitures de toutes classes sur les chemins de fer; par L. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la compagnie des chemins de fer de l'Est. Publié par ordre du conseil d'administration, avec un atlas de 31 pl. In-8°, XXXI-458 p. (10163)

6° *Sujets divers.*

SOLEILLET. — Exploration du Sahara. Avenir de la France en Afrique; par Paul Soleillet. In-8°, VII-110 p. Avignon, imp. Séguin aîné. Paris, 3 fr. (9188)

OUVRAGES ANGLAIS.

BOX. *Practical Hydraulics.* Hydraulique pratique.

BOX. *A Practical Treatise...* Traité pratique de la chaleur, appliquée aux arts usuels.

Parliamentary. Mines... Rapports des inspecteurs des mines pour 1875.

— *Railways...* Rapport sur les chemins de fer pour 1875.

— *Railways...* Rapports sur les accidents de chemins de fer pour 1875.

— *Railways. India...* Rapport sur les chemins de fer de l'Inde pour 1875.

— *Railways...* Rapport sur les accidents de chemins de fer. Janvier-juin 1876.

— *Railways...* Rapports des inspecteurs sur les accidents de chemins de fer. Parties 1-5. Année 1876.

— *Coal...* Rapport sur la combustion spontanée du charbon.
— *Dynamite...* Rapport sur l'explosion de dynamite de Cymmer.
— *Boiler explosions...* Rapport sur les explosions de chaudières.
HUMBER. *Comprehensive Treatise...* Traité de l'alimentation d'eau pour les villes.
GEIKIE. *Historical Geology...* Géologie historique.
GEIKIE. *The great Ice Age...* La grande époque glaciaire et ses rapports avec l'ancienneté de l'homme.
Philadelphia International Exhibition... Exposition internationale de Philadelphie en 1876. Catalogue officiel de la section anglaise.
POOR. *Manual of the Railroads...* Manuel des chemins de fer des États-Unis pour 1876-77.
PICKERING. *Elements of Physical...* Éléments des manipulations de physique.
SUTTON. *A systematic Handbook...* Manuel systématique d'analyse volumétrique.
TYNDALL. *Lectures on Electricity...* Leçons sur l'électricité à l'Institut royal.
WANKLYN et CHAPMAN. *Water Analysis...* Analyse de l'eau, traité pratique de l'examen de l'eau potable.
CH. DARWIN. *Geological Observations...* Observations géologiques sur les îles et les régions volcaniques de l'Amérique du Sud.
MANSFIELD. *Aerial Navigation.* Navigation aérienne.
ROSCOE. *What the Earth...* De quoi la terre est composée ; trois leçons.
WOODWARD. *The Geology...* Géologie de l'Angleterre et du pays de Galles.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

BOLLER. *Practical Treatise...* Traité pratique de la construction des ponts en fer. New-York.
MAC-CULLOCH. *Treatise on the mechanical Theory...* Traité de la théorie mécanique de la chaleur, et son application à la machine à vapeur. New-York.
SCHOTT. *Tables, distribution...* Tableaux, distribution, et variation de la température de l'atmosphère dans les États-Unis. Washington.
Iron Works... Usines à fer des États-Unis. Par l'Association américaine du fer et de l'acier. Philadelphie.

Fleming. *Narrow Gauge Railways*... Les chemins de fer à voie étroite en Amérique. Philadelphie.

Roper. *Handbook of modern*... Manuel des machines à vapeur modernes. Philadelphie.

Wood. *The Elements*... Les éléments de la mécanique analytique. New-York.

Pleasonton. *The influence*... L'influence des rayons bleus de la lumière solaire et de la couleur bleue du ciel sur le développement de la vie animale et végétale. Philadelphie.

Rau. *Early Man*... L'homme primitif en Europe. New-York.

OUVRAGES ALLEMANDS.

Christiani. *Beiträge*... Contributions à l'étude de l'électricité. Berlin.

Ludwig. *Die Algebra*... L'algèbre de la chimie. Fribourg-en-Brisgau.

Helmhacker. *Die Mineralogie*... Minéralogie et géologie à l'usage des ouvriers mineurs qui suivent les écoles des mines. Vienne.

Liebold. *Die neuen continuirlichen*... Les nouveaux fours continus pour la cuisson des briques, des calcaires, etc. Halle.

Rohr. *Handbuch*. . Manuel du service pratique des chemins de fer. Livraisons 1 et 2. Stuttgart.

Trauzl. *Die Dynamite*... La dynamite, ses propriétés et son emploi. Berlin.

Neues Handwörterbuch der Chemie... Nouveau dictionnaire de chimie publié avec le concours de plusieurs savants, par *H. v. Fehling*. 2e vol., 21e livraison. Brunswick.

Martini et Chemnitz. *Systematisches Conchylien-Cabinet*... Collection systématique de coquilles, publiée et complétée par *H. Küster*, avec le concours de Philippi, L. Pfeiffer, Dunker et E. Römer. Livraisons 246-251. Nüremberg.

Zittel. *Handbuch der Paläontologie*... Manuel de paléontologie, publié avec le concours de W. P. Schimper. 1er vol., 1re livraison. Munich.

Abbass. *Handbuch der gesammten*... Manuel de la fabrication des métaux ouvrés. 1re partie. Weimar.

ENGELHARD et CHLUPP. *Lehrbuch...* Traité du service des transports par chemins de fer. Livraisons 1-7. Vienne.

RAMDOHR. *Die Maschinen.* Les machines. 1er vol., fascicules 3-5 Halle.

SCHMIDT. *Chemie für Metallarbeiter...* Chimie à l'usage des ouvriers en métaux. Stuttgart.

FEISTMANTEL. *Die Versteinerungen...* Les fossiles des couches carbonifères de Bohême. Livraisons 8 et 9. Cassel.

LOTH. *Die anorganische...* La chimie inorganique. Brunswick.

Palæontographica... Matériaux pour l'histoire naturelle du monde primitif. 21e vol., 8e livraison; 22e vol., 7e livraison; 23e vol., livraisons 8 et 9; 24e vol., livraisons 1-3. Table générale des 20 volumes de la 1re série, 1er fascicule. Cassel.

HOPPE. *Principien der Flächentheorie.* Principes de la théorie des surfaces. Leipzig.

SAND. *Die mechanische...* La théorie mécanique de la chaleur, dans ses rapports avec les principes fondamentaux de la physique moderne. Eichstätt.

HAUSDING. *Industrielle Torfgewinnung...* Extraction et emploi industriels de la tourbe. Berlin.

MEISSNER. *Die Hydraulik...* L'hydraulique et les moteurs hydrauliques. Iéna.

ENGELHARDT. *Tertiärpflanzen...* Plantes tertiaires de l'étage moyen de Leitmeritz : contributions à la flore fossile de Bohême. Dresde.

QUENSTEDT. *Petrefactenkunde Deutschlands.* Paléontologie de l'Allemagne. Echinodermes, livraisons 11 et 12. Leipzig.

SCHREIBER. *Handbuch der barometrischen...* Manuel de la mesure des hauteurs à l'aide du baromètre. Weimar.

TOULA. *Eine geologische Reise...* Voyage géologique dans le Balkan occidental et les régions voisines. Vienne.

WEISSENBORN. *Grundzüge...* Principes de la géométrie analytique du plan. Leipzig.

A. WINCKLER. *Ueber die Integration...* Sur l'intégration des équations différentielles linéaires du second ordre au moyen de simples quadratures. Vienne.

CL. WINCKLER. *Anleitung zur chemischen...* Guide pour l'étude chimique des gaz industriels. 1re partie : analyse qualitative. Freiberg.

ZSCHOKKE. *Die Anwendung...* Emploi du système de rails à crémaillère pour le chemin de fer du Saint-Gothard. Aarau.

SCHALTENBRANDT. *Die Locomotiven...* Les locomotives; collection de dessins avec texte descriptif. 4ᵉ livraison. Berlin.

ZETZSCHE. *Handbuch der elektrischen...* Manuel de télégraphie électrique. 2ᵉ vol., 1ʳᵉ livraison. Berlin.

OUVRAGES ITALIENS.

BUONAFALCE. *Sulla scoperta...* Sur la découverte d'un nouveau rapport géométrique servant à la solution du problème de la duplication du cube. Pise.

CAVALLI. *Note del bacino...* Notes sur le bassin du Pô en Piémont, concernant la disposition géologique de la couche de poudingue, etc. Turin.

Bollettino del R. Comitate... Bulletin du Comité royal de géologie d'Italie. Nᵒˢ 5-8. Rome.

SILVESTRINI. *Manuale pratico...* Manuel pratique des préparations chimiques. Novare.

STOPPANI. Paléontologie lombarde, ou Description des fossiles de Lombardie. Milan.

CAMPANI. *Acque minerali...* Eaux minérales et thermales des *Galleraje*, dans le val de Cecina, en Toscane. Poggibonsi.

LIOY. *Le abitazioni lacustri...* Les habitations lacustres de Fimon. Venise.

AGUDIO. Aux intéressés du chemin de fer du Saint-Gothard. Mémoire et propositions pour l'application de son système aux rampes d'accès et à la traversée du grand tunnel des Alpes. Turin.

CANTONI. *Elementi di fisica.* Éléments de physique. Milan.

CIVITA. *Cenni sulla produzione...* Renseignements sur la production de la fonte malléable. Milan.

DE GIORGI. *Note geologiche...* Notes géologiques sur la province de Lecce. Lecce.

DENZA. *Confronti dei barometri...* Comparaison des baromètres des stations barométriques d'Italie. Observatoire de Moncalieri. Turin.

DÜRER. *Notizie pluviometriche...* Notices pluviométriques et hydrométriques. Côme.

FERRINI. *Sulla temperatura...* Sur la température des flammes. Milan.

GIORGINI. *Sulle acque termo-minerali...* Sur les eaux thermo-minérales de San Casciano dei Bagni. Sienne.

LEONARDI. *Sull'acqua...* Sur l'eau sulfatée-calcaire-magnésienne de Carano, dans la vallée de Fiemme; recherches analytico-chimiques. Venise.

PUCCETTI. *Manuale di chimica...* Manuel de chimie pratique. Première partie. Lucca.

ROSSETTI. *Il Radiometro...* Le radiomètre de Crookes; mémoire lu à l'Académie de Padoue. Padoue.

BARACCHINI. *Trattato elementare...* Traité élémentaire de la conduite des machines à vapeur industrielles.

CASELLI, DUBOSC, CABELLA, élèves ingénieurs. *Al San Gottardo...* Au Saint-Gothard, notes et croquis. Turin.

CHIMINELLI. *Analisi...* Analyses des principales sources minérales de Recoaro. Bassano.

Ministero dei lavori publici... Ministère des travaux publics; direction générale des chemins de fer. Rapport statistique sur la construction et l'exploitation des chemins de fer italiens en 1875. Rome.

CASTELLI. *Ferrovia d'accesso...* Chemin de fer d'accès au Saint-Gothard. Milan.

GRASSI. *Sulla misura...* De la mesure des altitudes au moyen du baromètre. Milan.

POLLI. *Analisi chimica...* Analyse chimique de l'eau minérale de Brembilla (province de Bergame). Bergame.

BASSANI. *Annotazioni sui pesci.* . Notes sur les poissons fossiles du calcaire éocène de Monte-Bolca. Padoue.

WAGNER. *Nuovo trattato...* Nouveau traité de chimie industrielle. Turin.

Statistica del commercio... Statistique du commerce spécial d'importation et d'exportation du royaume d'Italie, du 1er janvier au 30 juin 1876; publié par les soins du Ministère des finances. Florence.

FAVARO. *Intorno ad alcuni studi...* Sur quelques études du Dr Schmidt sur les tremblements de terre. Florence.

Sul piano inclinato... Sur le plan incliné à traction funiculaire établi à Lanslebourg, dans le système de l'ingénieur T. Agudio. Rapport de la Commission du gouvernement italien à S. Exc. le Ministre des travaux publics. Rome.

CALLOUD. *Ipotesi sull' origine...* Hypothèses sur l'origine des planètes et la cause de leur mouvement de translation autour des centres stellaires. Parme.

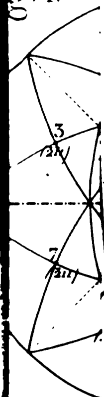
DADDI. *Corso di geodesia...* Cours de géodésie; école d'application de l'artillerie et du génie. 1re partie. Turin.

LUVINI. *Compendio di geometria...* Traité de géométrie à deux et à trois dimensions, et de trigonométrie rectiligne et sphérique. Turin.

PUCCETTI. *Manuale di chimica...* Manuel de chimie pratique. Lucca.

SELMI. *Almanacco di chimica...* Almanach de chimie agricole. 5e année (1877). Milan.





...g. 1.



Fig. 5.

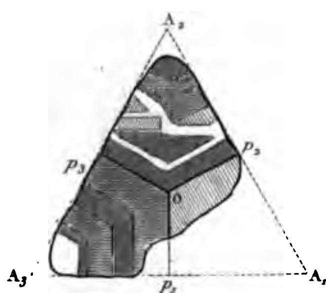


Fig. 6.

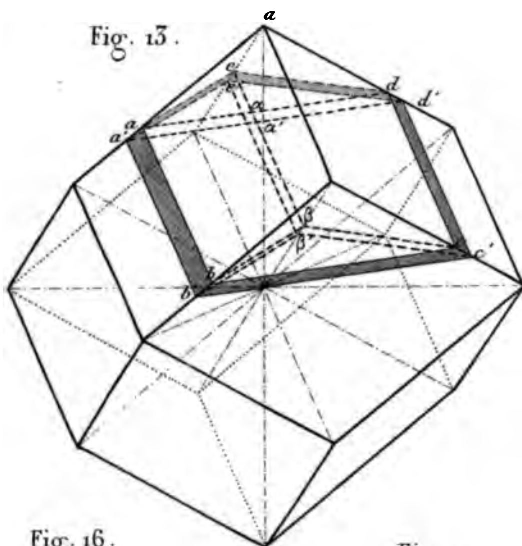


Fig. 13.

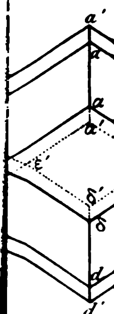


Fig. :

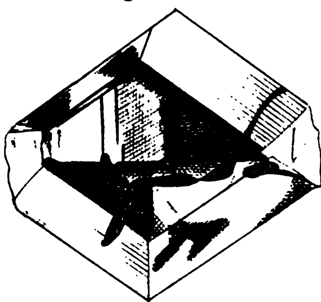


Fig. 16.

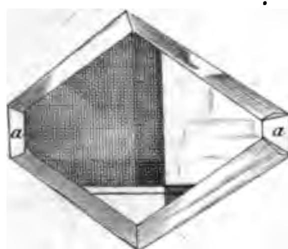


Fig. 17.

Barré et Macquet



Fig. 18.

Fig. 21



Fig. 22.

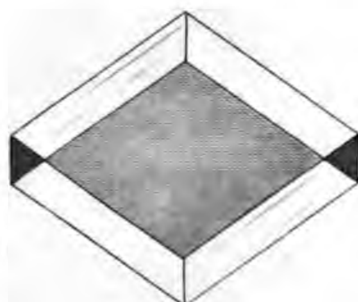


Fig. 27.

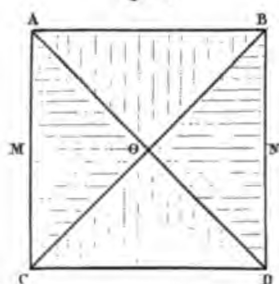


Fig. 28.

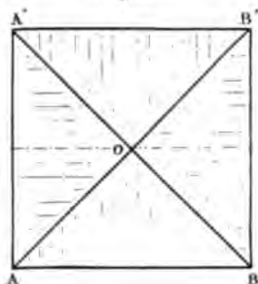


Fig. 29.

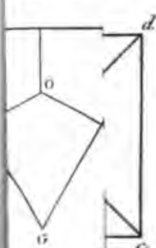


Fig. 35.

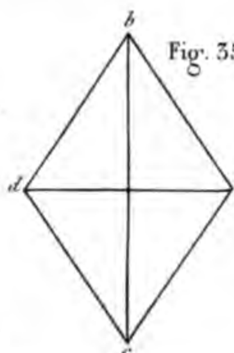


Fig. 36.

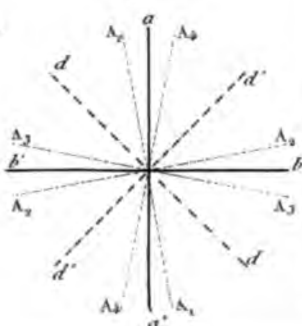


Fig. 3



Fig. 42.



Fig. 43.

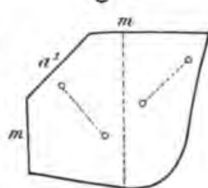


Fig. 44.



Fig. 50.



Fig. 51.

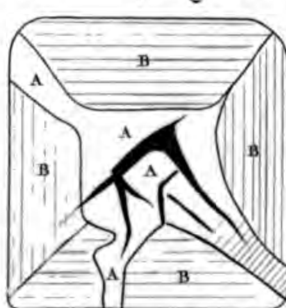


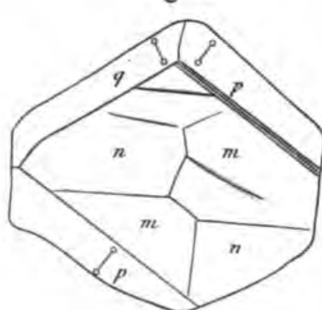
Fig. 53.



Fig. 54.



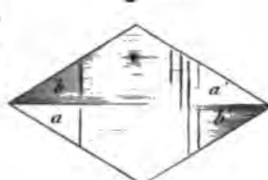
Fig. 60.



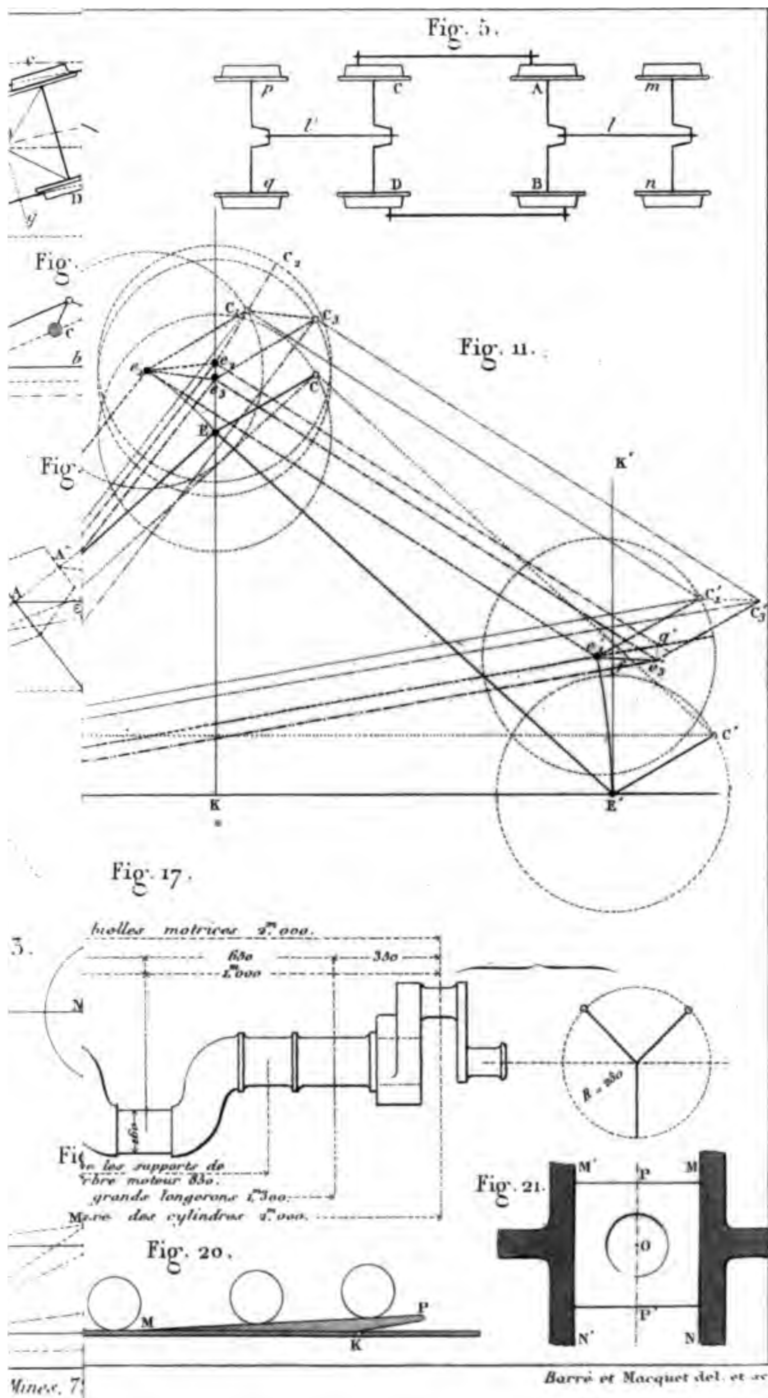
ig. 59.



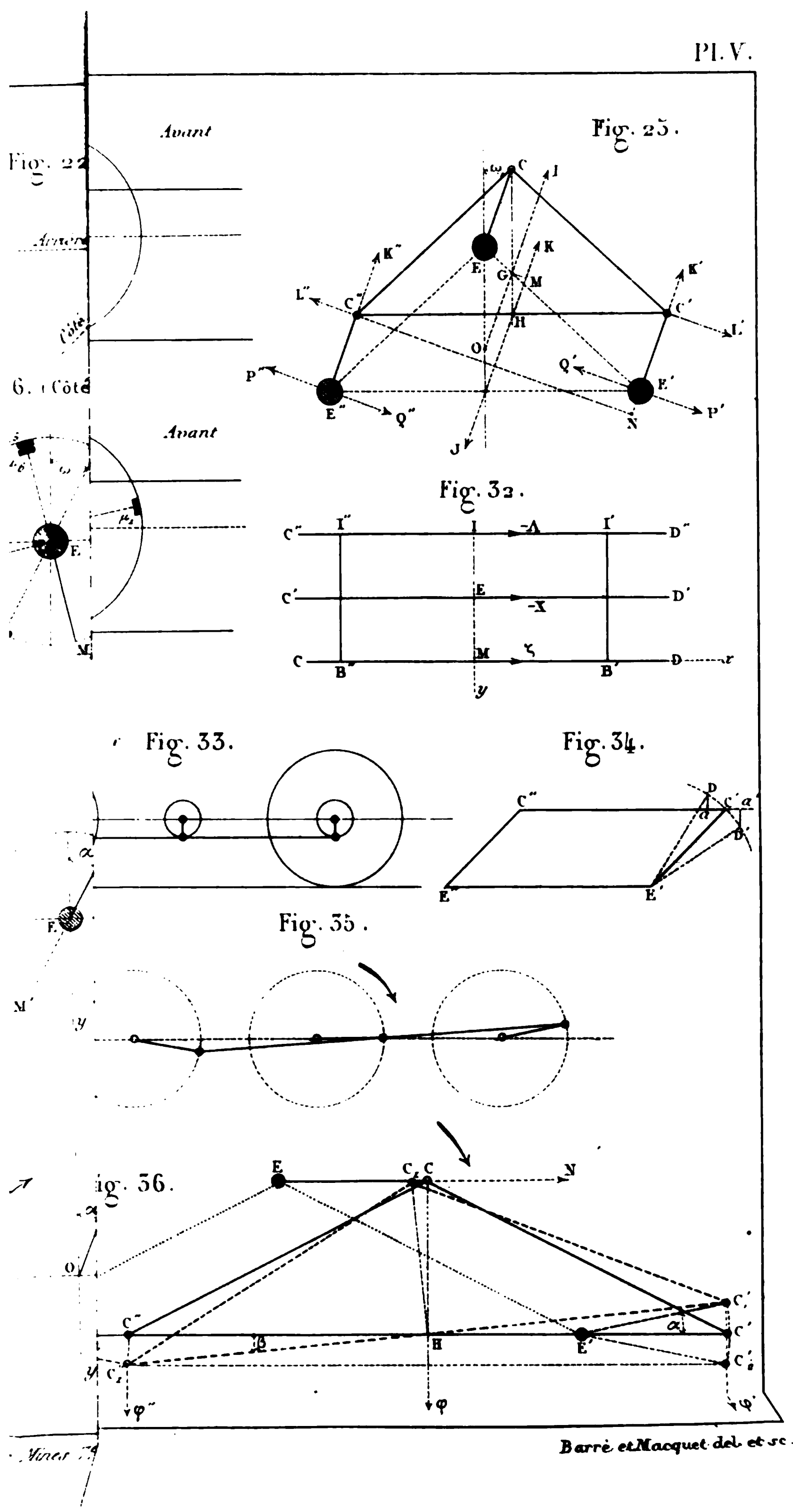
Fig. 61.



Barré et Marquet del. et sc.



Barré et Macquet del. et sc.

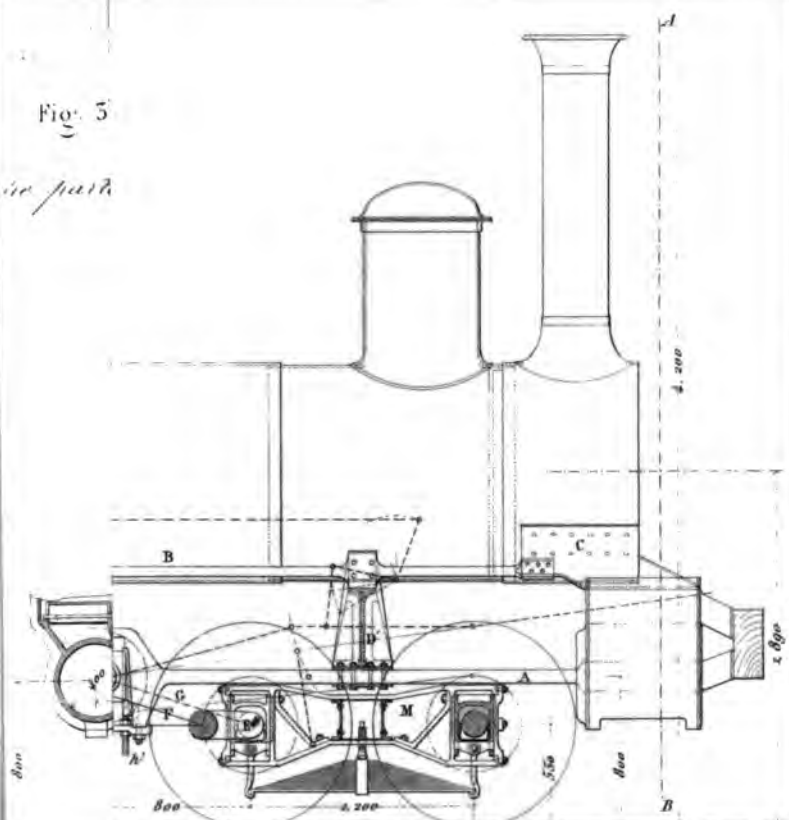


Barré et Macquet del. et sc.



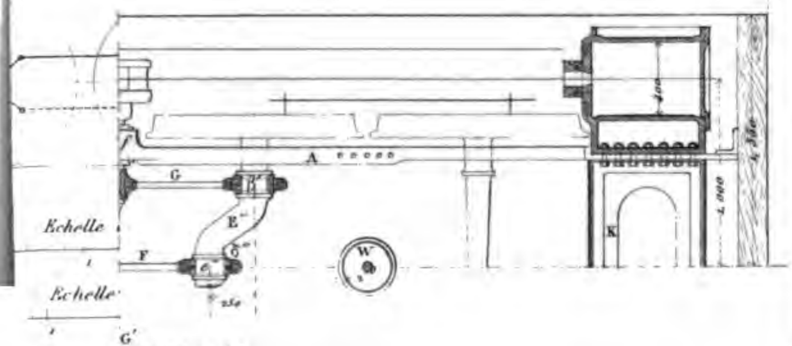
Pl. VI.

Fig. 3



...té droit
...té gauche
...lieu

plan.

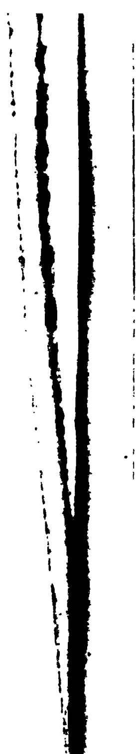


Echelle

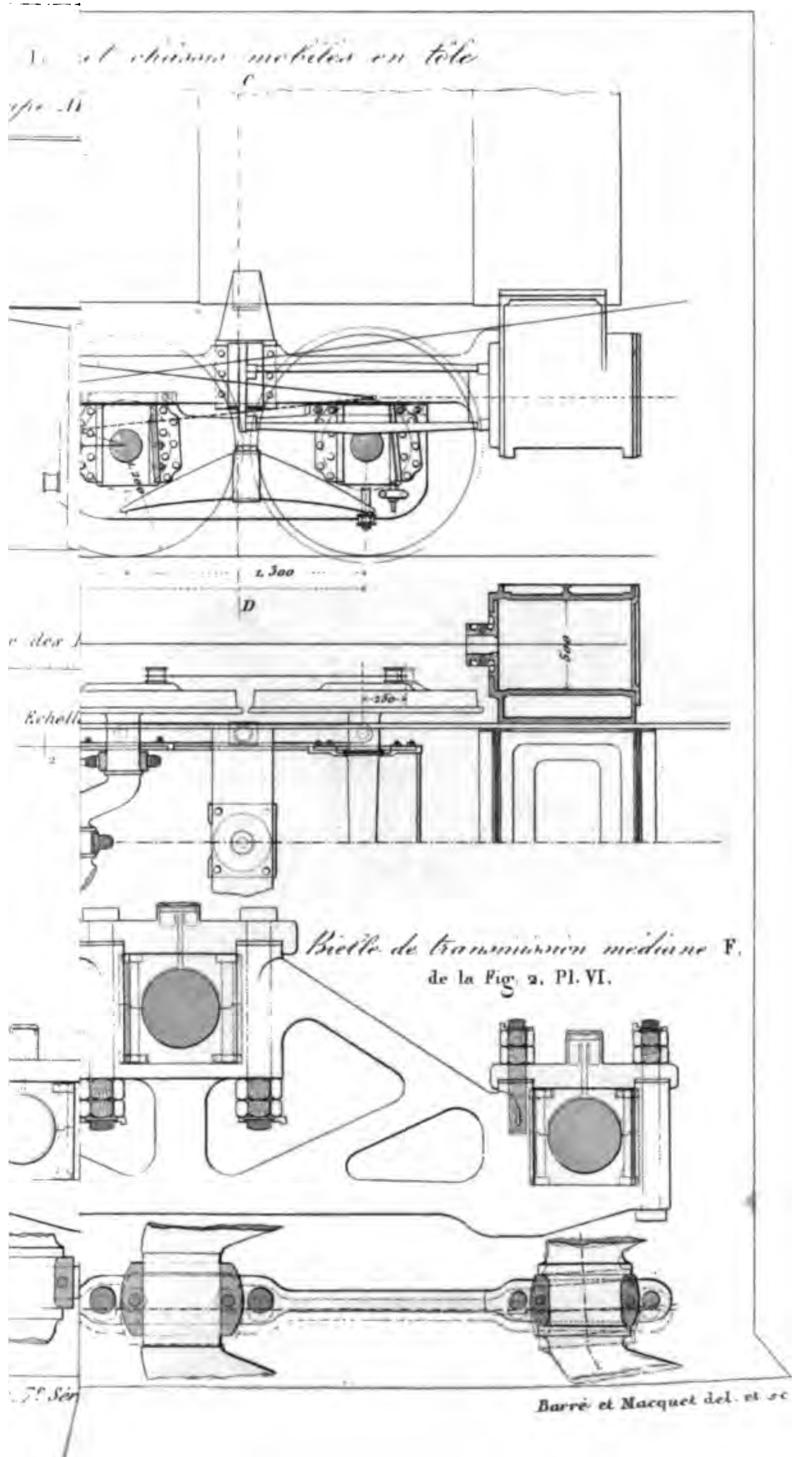
Echelle

Barré et Marquet del. et sc.

...7e Sér...

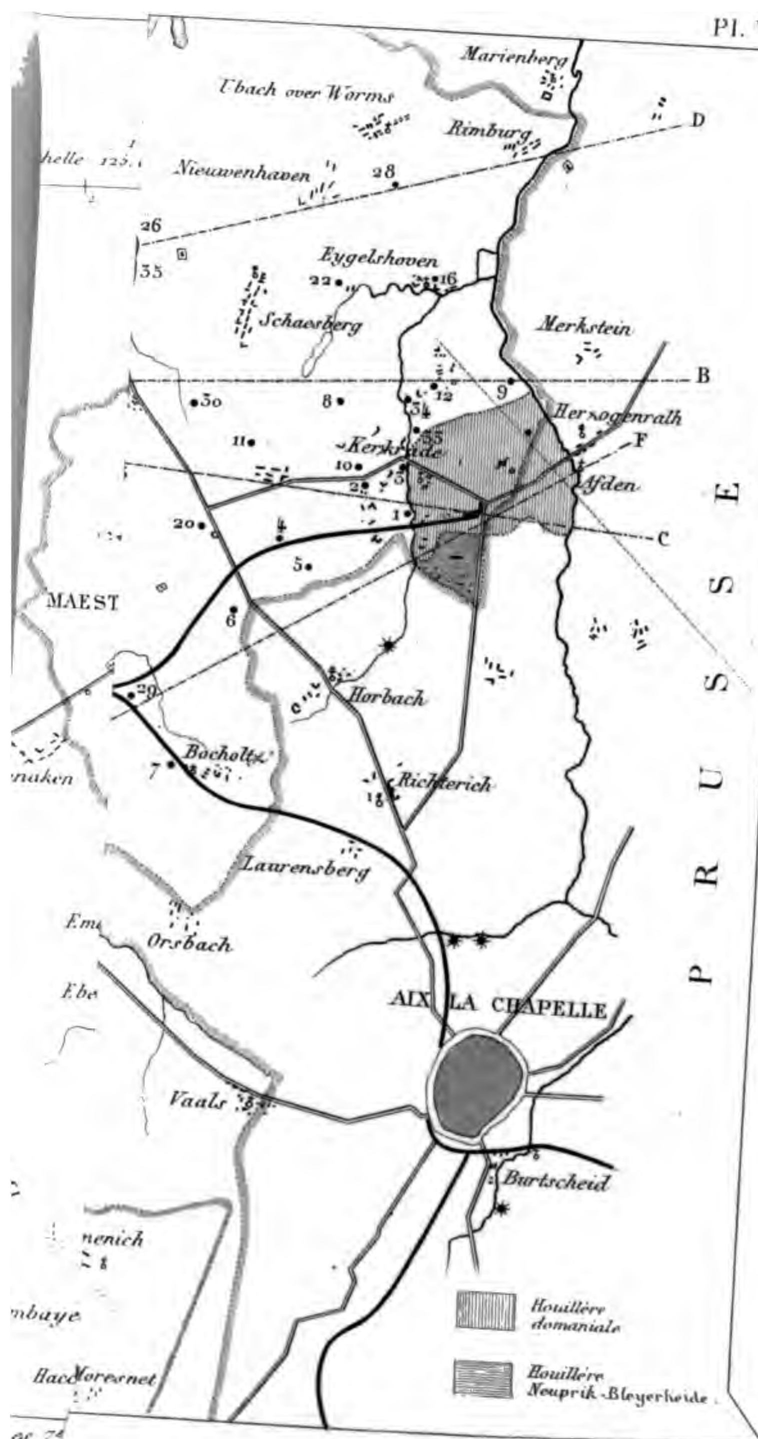


Pl. VII.

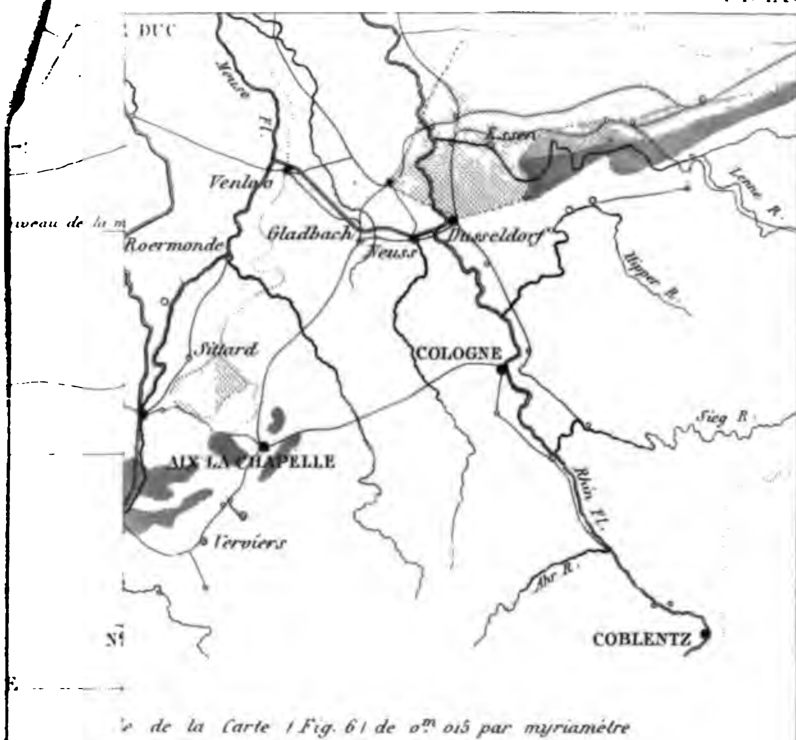


Barré et Macquet del. et sc.

Pl. VIII.



Barre et Macquet del. et sc.



... de la Carte (Fig. 6) de $0^m\ 015$ par myriamètre

1 2 3 4 5 6 myriam.

N° 17.

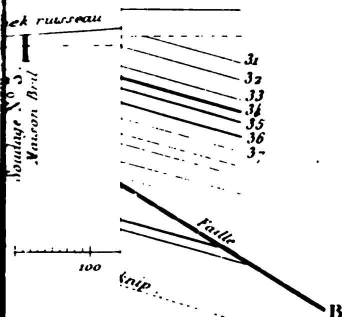
Echelle pour les longueurs $0^m\ 01$ par kilom.

1 2 3 4 5 6 7 8 kilom.

Echelle pour les hauteurs de $0^m\ 0075$ pour 100 mètres

100 200 300 400 500 mètres

Fig. 5



Légende des profils

Limons.
Argiles.
Sables.
Marnes
Calcaires

Craie de Maëstricht

Schistes houillers avec ou sans couches de charbon.

... des Mines

Barré et Macquet del. et sc.

